



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

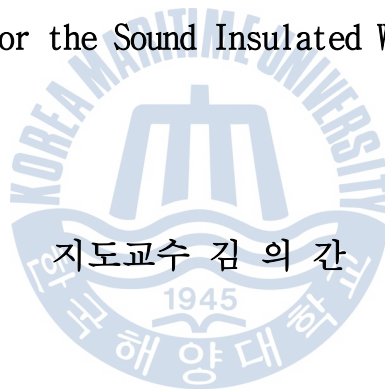
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

벽체 차음성능 측정의
신뢰성 확보를 위한 실험적 연구

An Experimental Study on Measurement Reliability
for the Sound Insulated Wall



지도교수 김 의 간

2013년 8월

한국해양대학교 대학원

기계공학과

구 희 모

유체역학

본 논문을 구희모의 공학석사 학위논문으로 인준함.

Introduction to



위원장
위원
위원

박 권 하
황 광 일
김 의 간



2013년 06월 21일

한국해양대학교 대학원

목 차

| | |
|----------------------------|------|
| List of Tables | iv |
| List of Figures | v |
| Abstract | viii |
| | |
| 1. 서 론 | 1 |
| 1.1 연구 배경 및 목적 | 1 |
| 1.2 연구 내용 및 방법 | 2 |
| 1.3 논문의 구성 | 4 |
| | |
| 2. 고차음 벽체 설계 기초 | 5 |
| 2.1 흡음 | 5 |
| 2.1.1 잔향 시간 | 5 |
| 2.1.2 흡음률 | 7 |
| 2.2 차음 | 11 |
| 2.2.1 단일 벽체 | 12 |
| 2.2.2 이중 벽체 | 15 |
| | |
| 3. 벽체의 차음 성능 측정 및 평가 | 17 |
| 3.1 벽체의 차음 성능 측정 | 17 |
| 3.1.1 관내법 | 17 |
| 3.1.2 잔향실법 | 18 |
| 3.2 벽체의 차음 성능 평가 | 22 |
| 3.2.1 R_w 평가법 | 22 |
| 3.2.2 STC 평가법 | 26 |

| | |
|--|----|
| 4. ISO 140-1 잔향실 특성이 벽체의 차음 성능에 미치는 영향 | 28 |
| 4.1 실험 개요 | 28 |
| 4.2 수음실 흡음력의 영향 | 30 |
| 4.2.1 측정 개요 | 30 |
| 4.2.2 측정 및 결과분석 | 32 |
| 4.3 스피커 위치의 영향 | 36 |
| 4.3.1 측정 개요 | 36 |
| 4.3.2 측정 및 결과분석 | 38 |
| 4.4 마이크로폰 위치의 영향 | 42 |
| 4.4.1 측정 개요 | 42 |
| 4.4.2 측정 및 결과분석 | 42 |
| 4.5 측로 전달음의 영향 | 61 |
| 4.5.1 측정 개요 | 61 |
| 4.5.2 측정 및 결과분석 | 61 |
| 5. 결 론 | 67 |
| 참고문헌 | 69 |
| 감사의 글 | 71 |

List of Tables

| | | |
|------------------|---|----|
| Table 2.1 | Sound absorption coefficient according to sound incidence conditions · | 8 |
| Table 2.2 | Classification of sound absorbents | 10 |
| Table 3.1 | Relevant spectrum adaptation term for different types of noise source · | 23 |
| Table 3.2 | Sound level spectra to calculate the adaptation terms | 24 |
| Table 3.3 | Reference values for R_w curve | 25 |
| Table 3.4 | Reference values for STC curve | 27 |
| Table 4.1 | Specification of test specimen | 29 |
| Table 4.2 | Specification of test room | 29 |
| Table 4.3 | Measurement equipment | 29 |
| Table 4.4 | Single-number quantities by each speaker position | 41 |
| Table 4.5 | Natural frequency in test room by calculation | 45 |
| Table 4.6 | Results range of single-number quantities | 52 |
| Table 4.7 | Effective measurement positions by speaker position | 52 |
| Table 4.8 | Material to control for flanking transmission | 62 |
| Table 4.9 | Method to control for flanking transmission | 62 |

List of Figures

| | |
|--|----|
| Fig. 2.1 Curve of reverberation time | 6 |
| Fig. 2.2 Principle of sound absorption | 7 |
| Fig. 2.3 Principle of sound insulation | 11 |
| Fig. 2.4 Transmission loss region for insulation materials | 12 |
| Fig. 2.5 Coincidence effect | 13 |
| Fig. 2.6 Transmission loss of single and double wall | 15 |
| Fig. 3.1 Duct for measuring transmission loss | 18 |
| Fig. 4.1 Measurement diagram | 28 |
| Fig. 4.2 Acoustic absorbent | 30 |
| Fig. 4.3 Measurement scene in empty room | 31 |
| Fig. 4.4 Measurement scene in room installed acoustic absorbent | 31 |
| Fig. 4.5 Reverberation time according to install acoustic absorbent | 33 |
| Fig. 4.6 Sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent | 33 |
| Fig. 4.7 Standard deviation of sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent | 34 |
| Fig. 4.8 Sound reduction index according to install acoustic absorbent | 34 |
| Fig. 4.9 Distribution of sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent | 35 |
| Fig. 4.10 Set-up positions of microphones and speakers | 36 |
| Fig. 4.11 Sound generating scene | 37 |
| Fig. 4.12 Sound measuring scene | 37 |
| Fig. 4.13 Average sound pressure level in source room | 39 |
| Fig. 4.14 Average sound pressure level in receiving room | 39 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Fig. 4.15 | Standard deviation of sound pressure level in source room | 40 |
| Fig. 4.16 | Standard deviation of sound pressure level in receiving room | 40 |
| Fig. 4.17 | Average sound reduction index by each speaker position | 41 |
| Fig. 4.18 | Set-up the microphone positions (Grid) | 44 |
| Fig. 4.19 | Measurement scene for sound pressure distribution | 44 |
| Fig. 4.20 | Sound pressure level in source room (speaker position #1) | 46 |
| Fig. 4.21 | Sound pressure level in source room (speaker position #2) | 46 |
| Fig. 4.22 | Sound pressure level in source room (speaker position #3) | 47 |
| Fig. 4.23 | Sound pressure level in receiving room (speaker position #1) | 47 |
| Fig. 4.24 | Sound pressure level in receiving room (speaker position #2) | 48 |
| Fig. 4.25 | Sound pressure level in receiving room (speaker position #3) | 48 |
| Fig. 4.26 | Sound reduction index (speaker position #1) | 49 |
| Fig. 4.27 | Sound reduction index (speaker position #2) | 49 |
| Fig. 4.28 | Sound reduction index (speaker position #3) | 50 |
| Fig. 4.29 | Sound reduction index at effective measurement positions | 50 |
| Fig. 4.30 | Distribution chart of R_w & STC | 51 |
| Fig. 4.31 | Distribution chart of R_w & R_w+C | 51 |
| Fig. 4.32 | Distribution of sound pressure level (speaker position #1) | 53 |
| Fig. 4.33 | Distribution of sound pressure level (speaker position #2) | 54 |
| Fig. 4.34 | Distribution of sound pressure level (speaker position #3) | 55 |
| Fig. 4.35 | Deviation of sound pressure level (speaker position #1) | 56 |
| Fig. 4.36 | Deviation of sound pressure level (speaker position #2) | 57 |
| Fig. 4.37 | Deviation of sound pressure level (speaker position #3) | 58 |
| Fig. 4.38 | Effective measurement positions (speaker position #1) | 59 |
| Fig. 4.39 | Effective measurement positions (speaker position #2) | 59 |
| Fig. 4.40 | Effective measurement positions (speaker position #3) | 59 |
| Fig. 4.41 | Common effective measurement positions (speaker position #1, #2) ... | 60 |
| Fig. 4.42 | Common effective measurement positions (speaker position #1, #2, #3) · | 60 |

| | |
|---|----|
| Fig. 4.43 Rubber tube for sealing | 64 |
| Fig. 4.44 Method to control for flanking transmission | 64 |
| Fig. 4.45 Sound reduction index according to air pressure of sealing tube | 65 |
| Fig. 4.46 Sound reduction index according to application of rubber magnet | 65 |
| Fig. 4.47 Sound reduction index according to application of polyester | 66 |
| Fig. 4.48 Sound reduction index according to application of polyester and rubber magnet | 66 |



An Experimental Study on Measurement Reliability for the Sound Insulated Wall

Hi Mo, Goo

Department of Mechanical Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

Many types of walls are being developed in order to meet the noise standards which have been strengthened recently. Verification for walls developed for meeting the standards is generally done by evaluating various performances including sound insulation performance through laboratory method, and the sound insulation performance, which is one of evaluation standards, is an important criterion for evaluating indoor noises in residence areas surrounded by walls.

Standard laboratories, in which evaluation of sound insulation of walls are made, are generally classified into an indeterminate form type and a rectangular type according to the shape of laboratories, and rectangular type laboratories are widely used recently due to the sound field characteristics similar to that of residence spaces. When experiments are performed at rectangular type laboratories, however, standing waves are

generated due to the symmetric shape of indoor boundary surfaces. The standing wave generated in this environment can cause superposition of indoor sound field modes, generating deviations in sound pressure in the room, and this deviations in sound pressure in rectangular type laboratories can negatively affect the results of sound insulation performances.

In this study, research has been made on the method for reducing deviations in sound pressure which are generated at ISO type rectangular laboratories when measuring sound insulating performance of walls.

First, in order to verify the effects according to the sound absorbing power of a sound receiving room, differences in sound insulating performance were investigated for an empty reverberation room and a reverberation room with sound absorbing material installed.

Second, the positions of a speaker for advantageous forming of diffuse sound field were identified through the indoor sound pressure distribution characteristics according to the positions of the speaker.

Third, effective measuring points which are similar to average value of indoor space were identified through the indoor sound pressure distribution characteristics according to the position of the microphone.

Lastly, the effects of flanking transmission which is transmitted by the walls of the laboratory were identified.

Methods for reducing the deviation in sound pressure by controlling each of these effect factors were verified through the research, and it is proved that the undervalued sound insulation performances can be improved on the basis of the methods provided by this study.

KEY WORDS: Sound insulation 차음; Sound reduction index 음향 감쇠 계수; Room mode 실내 모드; Modal overlap 모드 중첩; Standing wave 정재파; Flanking transmission 측로전달음;

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

경제 성장에 따른 삶의 질적 향상으로 인해 요구되는 국민들의 생활수준은 더욱 높아지고 있다. 이에 따라 육상뿐만 아니라 해상(선박 및 해양플랜트)의 주거공간에 대한 실내소음 기준 또한 매우 강화되고 있는 추세이다. 예전부터 이러한 실내소음을 줄이기 위한 많은 선행 연구가 진행되어 왔다. 실내소음을 줄이기 위한 가장 중요한 요인 중 하나가 바로 벽체의 차음 성능을 높이는 것이다. 이에 따라 관련 업계에서는 한정된 두께로 우수한 차음 성능을 얻기 위해 많은 비용을 투자하며 개발에 힘쓰고 있다.

이러한 고차음 벽체의 개발에는 먼저 이론적 해석을 통해 도출된 결과를 설계에 반영하여 시제품 제작에 들어간다. 이렇게 제작된 시제품들은 공통 벽을 갖는 두 개의 잔향실에서 측정한 차음 손실(transmission loss)로서 차음 성능을 평가받게 된다. 지금까지 벽체의 차음 설계변수 도출을 위해 잔향실의 차음손실 측정결과를 바탕으로 이론적 모델 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 잔향실의 음압분포특성, 시편의 크기와 경계조건, 공통벽의 두께와 시편의 설치 위치 등에 따라 서로 다른 잔향실 간의 재현성(reproducibility) 문제가 발생하고 있으며 이를 이론적 모델에서 충분히 반영하지 못한다면 시험과 이론 예측 사이에는 큰 오차가 발생한다.¹⁴⁾

지금까지 실험실 간의 재현성 문제를 규명하기 위한 많은 시험소간 비교시험이 이루어져왔으나, 여전히 조금씩 차이가 발생하고 있는 실정이다. 이러한 차이를 발생시키는 요인에는 크고 작은, 수많은 요인들이 존재한다. 제품 시공상의 문제일 수도 있고 측정 장비의 특성 차이일 수도 있으나, 이 두 가지가 동일하다는 가정 하에 실험실의 측면에서 살펴보면 가장 큰 편차 요인 중 하나가 바로 실의 음장 특성에 따른 편차이다.

실제로 잔향실에서 차음 측정을 하는 이유는 음원실과 수음실의 두 방이 확산음장을 이루고 있다는 가정 때문이다. 그러나 방의 형태나 치수, 확산체의 유무, 마감재료 등에 따라 실제로 저음대역에서는 정재파(standing wave)로 인해 특정 위치에서 음이 증폭되거나 소멸되는 현상이 발생하며, 육면체 형태의 방에서는 그 경향이 더욱 커지게 된다.⁵⁾

따라서 제품의 차음 성능을 올바른 평가를 위해서는 이러한 실험실 특성을 정확히 파악하고 신뢰성 높은 결과를 도출하기 위한 실험실 검증은 실시할 필요성이 있다. 특히, 잔향실법의 측정방식에서는 실험실의 유효성 검증을 위한 사전 절차가 반드시 정립되어야 할 것이다.

이에 본 연구는 국내에서 주로 사용하고 있는 잔향실 중 하나인 ISO Type의 직방형(직육면체) 실험실을 대상으로 차음 성능 측정 시 제품의 성능에 영향을 줄 수 있는 편차 요인을 실험실적 측면에서 알아보고 이를 제어하기 위한 방안에 대해 모색하고자 한다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 직방형 잔향실에서 벽체의 차음 성능 측정 시 발생될 수 있는 편차 요인을 크게 4가지(수음실의 흡음력, 스피커의 위치, 마이크로폰의 위치, 측로 전달음)로 구분하여 각 요인별 편차를 실험을 통해 검토한다. 또한 실험 결과를 바탕으로 측정편차를 최소화하고 신뢰성 있는 차음 성능값을 도출하기 위한 방안에 대해 연구한다.

첫째 수음실의 흡음력에 따른 차음 성능 변화를 알아보기 위해 수음실 내에 흡음재를 배치하기 전과 후의 음압 레벨을 확인한다. 이는 실제 투과량이 동일하다고 하더라도 실내의 흡음력 차이에 따라 측정되는 음압 레벨의 크기가 다르게 나타날 수 있고, 실내 흡음력에 따라 실내에 분포되는 음에너지가 흡음되어 상쇄되는 에너지양이 다르기 때문이다. 이러한 편차를 줄이기 위해서

ISO 140-1에서는 실험실의 잔향조건으로 $1s \leq \text{잔향시간} \leq 2(\text{실의 용적}/50)^{2/3}s$ (여기서 s는 초를 의미)를 규정하고 있다. 본 실험에서는 실제 완전잔향실의 경우와 ISO 140-1 실내 잔향 조건에 부합할 시에 나타나는 흡음력 차이로 인해 차음 성능에 어느 정도의 영향을 미치는지를 실험을 통해 확인한다.

둘째 스피커 위치를 선정하기 위해 실험실 내에 설치 가능한 스피커 위치를 선정하고 위치별 방사 및 음압 분포 특성을 알아보고, 이에 따른 차음 성능 변화를 확인한다. 실제 스피커(특히 지향성 스피커의 경우)는 직접음을 피하기 위해 마이크로폰의 반대를 향하도록 배치하여 측정한다. 그렇기 때문에 스피커의 위치 및 초기 방사각에 따라서 실내에 분포되는 특성이 다르게 나타날 수 있으며 이에 따라 차음 성능에도 차이가 발생할 수 있다. 본 실험에서는 음원실내에 3지점의 스피커 위치와 음원실, 수음실에 각각 90지점의 마이크로폰 위치를 선정하여 음원실과 수음실내의 공간적 음압분포를 확인하고, 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위한 방안을 검토한다.

셋째 측정된 공간적 음압 레벨을 바탕으로 이를 평균한 공간 평균레벨을 각 실의 대푯값으로 하고, 이로부터 유효 측정점의 위치 및 개수를 확인한다. 그리고 각 실의 공간 평균레벨에 대한 차음 성능 결과와 유효 측정점에서의 차음 성능 결과를 비교하여 그 유효성을 검증한다.

넷째 실험 대상인 벽체를 투과하는 음 외에 실간 연결 부위인 바닥, 벽, 천정 등 실험실 구조물을 통해 전달되는 측로 전달음(flanking transmission)의 영향을 확인하고, 이를 제어함으로써 측정 결과의 신뢰성을 확보하는 방안을 검토한다. 각 실과 시료틀 사이의 틈을 밀폐 시켜주는 공기튜브의 압력에 따른 영향과 측로 전달음의 이동경로에 흡음재와 고무자석 등을 이용하여 전달되는 진동을 제어함으로써 차음 성능에 미치는 영향을 확인한다.

1.3 논문의 구성

본 논문은 총 5장으로 구성되어 있으며, 세부 구성은 다음과 같다.

1장에서는 연구의 배경 및 목적, 연구 내용 및 방법, 그리고 논문 구성에 대해서 소개하고 있다.

2장은 고차음 벽체의 설계 시 고려되어야 할 기본적인 음향 이론 및 원리에 대해서 기술한다. 2.1절은 흡음 이론 및 원리, 소재별 흡음특성 등에 대한 내용을 설명하고, 2.2절은 차음 이론 및 원리, 단일 벽체와 이중 벽체의 투과손실 특성 및 설계 방법 등에 대한 내용을 설명한다.

3장은 벽체의 차음 성능 측정 및 평가 방법에 대한 내용이며, 3.1절은 벽체의 차음 성능 측정법의 종류 및 측정 방법, 그리고 차음 용어에 대해 간략히 설명하고, 3.2절은 벽체의 차음 성능 평가법의 종류 및 평가량 산출 방법에 대해 설명한다.

4장은 ISO 140-1 잔향실 특성이 벽체의 차음 성능에 미치는 영향에 대해서 알아보고 측정 편차를 줄이기 위한 제어방안을 모색한다. 4.1절은 전체적인 실험 개요에 대해 기술하고, 4.2절은 수음실 흡음력에 따른 영향, 4.3절은 스피커 위치에 따른 영향, 4.4절은 마이크로폰 위치에 따른 영향, 4.5절은 측로 전달음에 대한 영향을 각각 실험을 통해 확인하고 평가한다.

5장은 본 논문의 결론으로서 ISO 140-1 잔향실 특성이 벽체 차음 성능에 미치는 영향에 대한 연구결과를 요약한다.

제 2 장 고차음 벽체 설계 기초

2.1 흡 음

건축물에 사용되는 모든 재료는 종류나 구조에 따라 차이는 있으나 그 재료에 도달한 음에너지의 일부를 흡수하거나 투과시킨 후, 나머지를 반사시키는 성질을 갖고 있다. 이 때 반사되지 않은 부분 즉, 음의 흡수를 흡음(sound absorption)이라 한다. 이론적으로는 재료에 입사한 음에너지가 점성 저항이나 마찰 저항에 의해 열에너지로 변환되는 것을 말하며, 그 효과가 있는 재료를 흡음재료라고 부른다. 이들 흡음재료는 강당, 음악당, 방송스튜디오 등에서 반사음 등을 제거하여 소리의 청취조건이나 마이크로폰의 수음조건을 개선하기 위한 실내음향 조정과 소음발생원 주변에 흡음재를 배치하여 소음레벨을 저하시키는 등의 거주환경 조정을 위한 소음제어 기능으로도 사용되지만, 이중 구조 이상의 고차음 벽체 설계 시 내부 흡음재로써 차음 성능 향상에 중요한 역할을 하는 중요한 요소 중 하나이다.

2.1.1 잔향 시간

잔향 시간(reverberation time)은 실내음향 특성을 나타내는 척도 중에서 거시적이고 가장 기본이 되는 데이터이다. 음의 울림 양에 대한 가장 중요한 평가지수이며 음원이 정지된 후에 정상 상태의 음압이 100만분의 1까지 떨어지는 시간 또는 음압 레벨이 -60dB 감쇠되는 시간으로 정의한다(Fig. 2.1). 즉, 음의 발생이 정지된 후에도 소리가 실내에 머무는 현상을 말한다. 음감의 풍부성을 좌우하며 건축 공간적 측면에서는 공간이 음을 품는 능력을 나타내므로 공간체적과 관계되는 요소이다.

ISO 3382는 잔향 시간을 측정하는 국제 표준 규격으로, 이 규격에서는 EDT, RT20, RT30, RT60을 규정하고 있다. 여기서 EDT(early decay time)는 초

기감쇠시간을 의미하며, 잔향파형의 초기감쇠 부분 (0 ~ 10)dB에서 음 감쇠 특징이 결정된다는 개념에서 중요성을 지닌다. RT20과 RT30은 잔향 감쇠 곡선에서 각각 (-5 ~ -25)dB까지, (-5 ~ -35)dB까지 감쇠되는 시간을 의미한다. RT20과 RT30은 직접음 바로 뒤에 오는 초기 반사음의 영향을 무시한 데이터이다. RT20과 RT30은 측정하는 실내의 배경 소음이 많아서 잔향 감쇠 곡선이 -60 dB까지 떨어지지 않는 경우에 사용한다.

잔향 시간 측정은 주로 두 가지 목적으로 측정되어진다. 첫 번째는 공연장이나 강연장 등 실내의 음향 조정을 위해 사용되어지며, 두 번째로는 흡음 소재에 대한 흡음률을 산출하기 위해 사용된다. ISO 354에서는 잔향 시간 측정을 통한 흡음률 산출 방법에 대한 내용이 상세히 기술되어 있으며, 일반적인 흡음 소재의 흡음률을 측정 시 주로 사용된다.

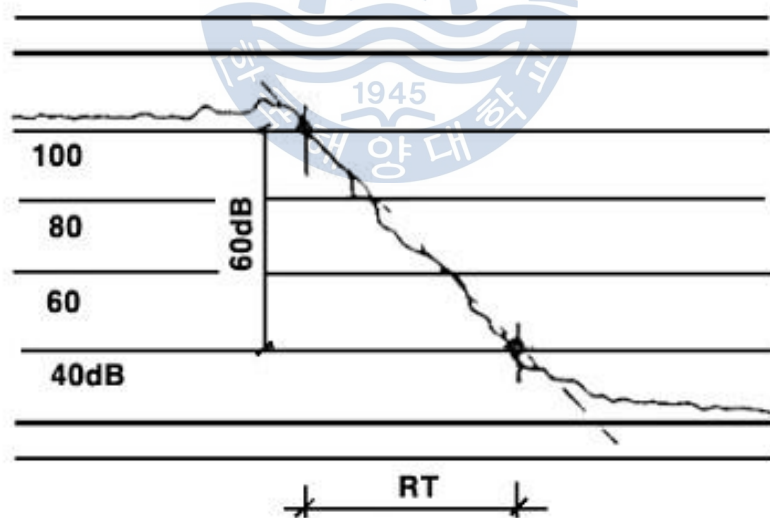


Fig. 2.1 Curve of reverberation time ³⁾

2.1.2 흡음률

흡음재료나 흡음구조의 흡음성능은 흡음률(α)로 표시되며, 입사 에너지와 재료 표면에 흡수된 에너지의 비율로서 식 (2.1)과 같다. 어떤 재료의 흡음 정도는 각 주파수별 흡음률로 표시하며, 흡음률은 0 ~ 1 사이의 값(표면 형상이나 회절에 의해 1 이상의 값을 갖는 경우도 있음)을 갖는다. Fig. 2.2에서는 흡음에 대한 원리를 보여준다. 그리고 흡음률은 재료의 종류나 사용조건 외에는 입사조건과 관계가 있는데, 평면파가 재료에 수직으로 입사할 때의 흡음률인 수직입사 흡음률(α_0)과 특정 경사방향에서 입사할 때의 사입사 흡음률(α_θ), 그리고 모든 방향에서 입사할 때의 랜덤입사 흡음률(α_m)로 나뉜다. Table 2.1은 현재 사용되고 있는 이러한 3가지 종류의 흡음률을 나타낸 것이다.

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} \quad (2.1)$$

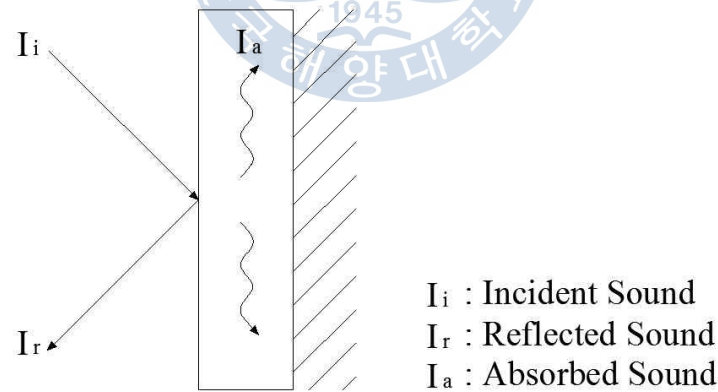


Fig. 2.2 Principle of sound absorption

Table 2.1 Sound absorption coefficient according to sound incidence conditions

| No. | Classification | Measurement standards |
|-----|--|-------------------------|
| 1 | Vertical incidence sound absorption coefficient (α_0) | ISO 10534, KS F 2814 |
| 2 | Incline incidence sound absorption coefficient (α_θ) | - |
| 3 | Random incidence sound absorption coefficient (α_m) | ISO 354, KS F 2805 |

실내 음향 설계 시 흡음재를 이용한 실내 잔향시간을 조정하게 되면 방음에 효과적이다. 실내 공간에 대한 자체 소음이 줄어들기 때문이다. 하지만 벽체에 대한 처음적인 측면에서 봤을 땐 흡음뿐만 아니라 반사음에 대한 요인도 매우 크다. 예를 들어 흡음이 잘 되는 밀도, 셀 구조(open cell, close cell), 두께를 선정하더라도 투과되는 음에너지의 양이 많으면 차음 성능이 낮아지게 된다. 이처럼 벽체 내부에 들어가게 되는 흡음재를 선정할 시에는 흡음뿐만 아니라 반사 및 투과 조건까지 고려된 소재를 선정하는 것이 중요하다.

실내 음향조정이나 소음제어를 목적으로 사용하는 흡음재료는 다공질 재료, 성형 흡음판, 구멍판 등과 같이 주로 재료의 외관에 따라 분류하는 경우가 많으며, 실제로도 외관상의 특징은 재료의 흡음성에 많은 영향을 미치게 된다. 흡음재의 종류는 Table 2.2에 나타난 바와 같이 다양하기 때문에 사용 목적에 적합하다고 판단되는 것을 선정해야 한다.

이들 흡음재료 중 벽체 내부 흡음재로 제일 많이 사용하는 것은 유리면이나 암면과 같은 다공질 재료이다. 이러한 재료를 사용하여 흡음처리 할 경우, 강도나 외장을 보완하거나 보수를 용이하게 하기 위해 그 재료의 표면을 별도의

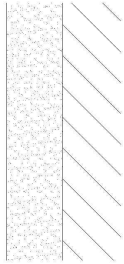
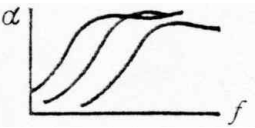
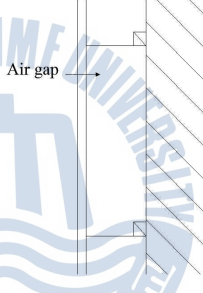
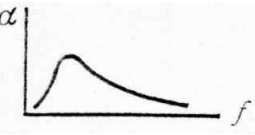
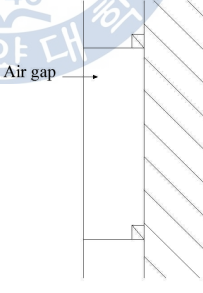
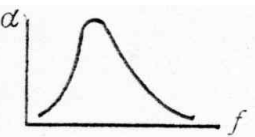
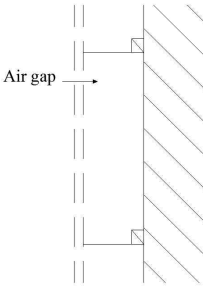
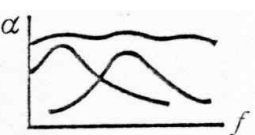
재료로 피복하거나 마감하게 된다. 이런 경우 표면 마감방법에 따라 흡음특성이 변화하는 경우가 많기 때문에 가능한 한 실제 사용상태의 흡음구조에 대한 측정결과를 바탕으로 흡음계획을 수립하는 것이 필요하다.

일반적으로 흡음재료는 적용대상이나 부위가 주로 건축물이나 설비 등에 해당되기 때문에 실내용이 대부분을 차지하고 있으나 소음방지의 목적으로 방음벽 등의 옥외구조물에 흡음재를 이용하는 경우도 있다. 이 경우 일조, 우수의 침투, 온도의 변화, 분진이나 가스의 부착 등으로 인해 재료의 내구성이나 흡음성능이 떨어지는 경우가 많기 때문에 이 점에 주의하여 흡음재료를 선정하거나 보호 장치를 마련한 후 사용하는 것이 바람직하다.

결과적으로 당초 흡음계획을 수립하는 목적을 달성하고, 흡음재료의 성능이 제대로 발휘되기 위해서는 그 흡음기구와 특성을 정확히 이해하여 목적에 맞는 정확한 설계가 이루어져야 함과 동시에 그 설계대로 충실하게 시공이 이루어지는 것이 무엇보다 중요하다.³⁾



Table 2.2 Classification of sound absorbers ³⁾

| No. | Type | Products | Structure | Absorption characteristic |
|-----|-----------------------------|--|---|---|
| 1 | Cellular material | Glass wool, Mineral wool, Sponge |  |  |
| 2 | Tabular material | Plywood, Gypsum board |  |  |
| 3 | Curtain material | Vinyl sheet |  |  |
| 4 | Perforated tabular material | Perforated plywood, Perforated aluminum plate |  |  |

2.2 차 음

차음이란 구조체 표면에서 음을 흡수하는 흡음과는 달리 차음 구조체가 음을 반사, 흡수하여 그 입사된 음이 투과하는 것을 막는 것을 의미한다. 일반적인 벽의 음파 투과를 생각하면 음파는 세 가지 방법으로 투과한다. 첫 번째로 벽에 틈이나 작은 구멍을 통과하는 것이고, 두 번째로 벽 재료 속으로 일단 음파가 들어가서 반대측의 공기 중으로 방사되는 것이며, 세 번째로는 벽을 일체로 진동시켜서 반대측에서 소리가 발생하는 것이다. 실제 첫 번째와 두 번째에 의해 투과되는 것을 별도로 보면, 세 번째의 판 진동에 의한 투과가 가장 큰 문제가 된다. 따라서 차음에는 물론 음을 흡수하여 열에너지로 바꾸는 흡음도 중요하지만 차음 구조체 자체에서의 음의 반사 및 구조체의 간극 및 진동 절연 조건 등도 매우 중요한 비중을 차지하고 있다.¹⁰⁾ Fig. 2.3은 벽을 투과할 때의 음의 경로를 나타낸 것이다.

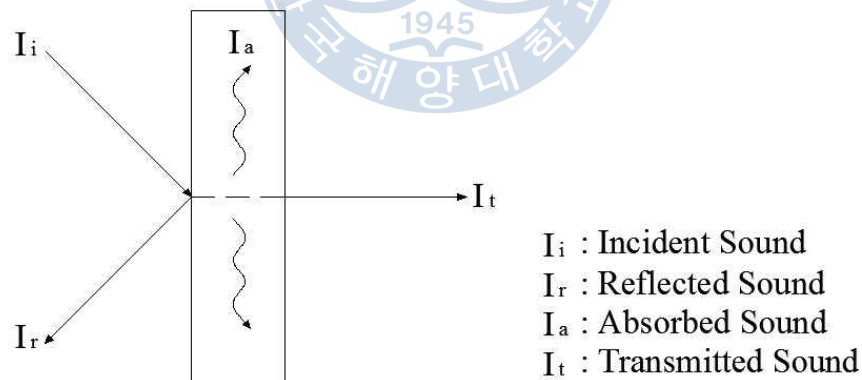


Fig. 2.3 Principle of sound insulation

2.1.1 단일 벽체

벽체의 투과손실에 영향을 주는 영역은 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있다. 첫째로 저주파 영역에서는 공진현상이 많이 나타나는데 이 영역을 강성 지배영역(stiffness-controlled region)이라 부른다. 둘째로 중간 주파수 영역은 주로 질량법칙(mass law)에 의해 투과손실이 결정되며, 셋째로 고주파 영역에서는 임계주파수(critical frequency) 부근에서 일치 효과(coincidence effect)가 발생하며 차음 재료의 임계주파수(f_c)는 고유주파수(natural frequency)에 의해 결정되어 진다.

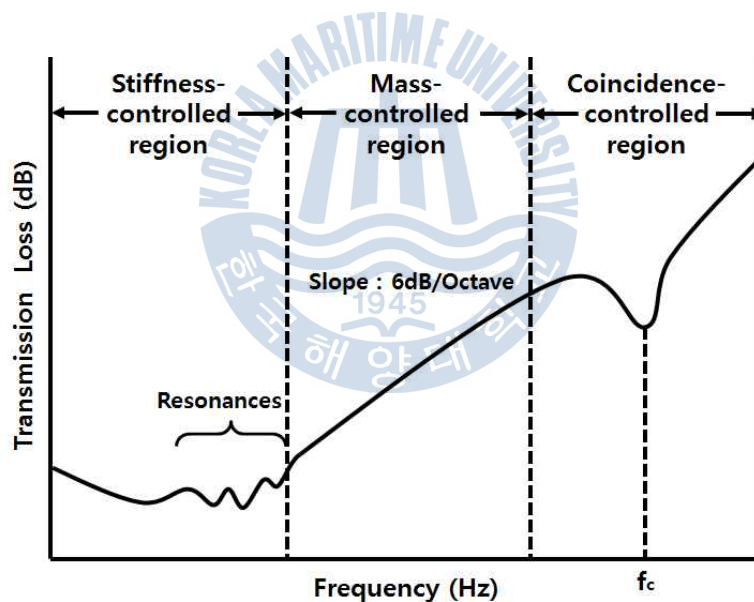


Fig. 2.4 Transmission loss region for insulation materials

여기서 단일벽체의 투과손실은 질량법칙에 의해 다음과 같이 3가지로 정의되며, 이 중에서 실제 음장에서는 입사각이 80° 이하이므로 식(2.4)와 같은 음장 입사 시 투과손실 식을 사용하는 것이 가장 바람직하다.³⁾

① 음에너지가 벽면에 수직으로 입사하는 수직입사($\theta=0^\circ$)시 투과손실은 다음과 같다.

$$TL_0 = 20\log_{10}(mf) - 43 \quad (2.2)$$

여기서, m 은 벽체의 면밀도(kg/m^2)이고, f 는 주파수(Hz)이다.

② 음에너지가 벽면에 랜덤(random)하게 입사하는 확산입사($\theta=0^\circ \sim 90^\circ$)시 투과손실은 다음과 같다.

$$TL = TL_0 - 10\log_{10}(0.23 TL_0) \quad (2.3)$$

③ 음에너지가 실제 음장에서와 같이 입사하는 음장입사($\theta=0^\circ \sim 78^\circ$)시 투과손실은 다음과 같다.

$$TL = TL_0 - 5 = 20\log_{10}(mf) - 48 \quad (2.4)$$

이 질량법칙은 벽체의 질량이나 주파수가 두 배가 되면 투과손실이 6dB씩 증가하는 법칙이다. 이러한 질량법칙은 벽체가 피스톤 운동을 한다는 가정 하에 성립하는 법칙이지만 실제 벽은 아래와 같이 굴곡 운동을 한다.

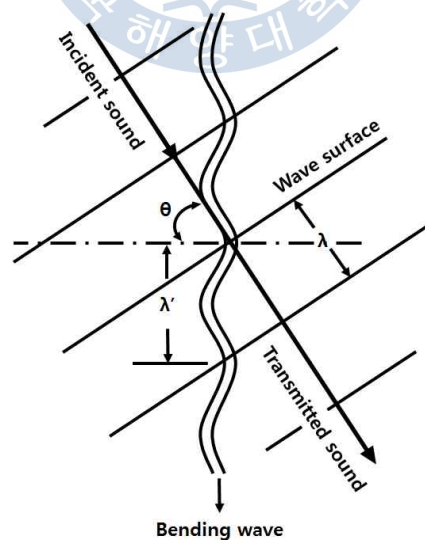


Fig. 2.5 Coincidence effect

파장 λ 의 음파가 벽면에 입사각 θ 로 입사될 때 벽체 내에 전파되는 파장 λ' 에 의해 벽체에 소밀파가 발생하여 벽이 굴곡 진동을 하게 된다. 이 때 파의 전파속도 c' 는 공기 중의 음속을 c 라 하면 다음과 같다.

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sin \theta} \quad (2.5)$$

$$c' = \frac{c}{\sin \theta} \quad (2.6)$$

만약 벽에 입사되는 입사음의 파장과 굴곡파의 파장이 일치한다면 벽체의 굴곡운동과 진폭은 입사파의 진폭과 같은 크기로 진동한다. 즉, 공진상태가 되어 입사음의 대부분의 에너지가 벽체를 통과하게 되는데 이로 인해 차음 성능이 현저하게 저하되는 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 일치효과라 한다.

일치효과를 발생시키는 공진주파수는 다음과 같으며, θ 가 90° 에 가까워질 때 공진주파수는 최저가 된다. 이 때, 일치효과를 일으키는 최저주파수를 임계주파수라고 한다.

$$f_0 = \frac{c^2}{2\pi h \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\sigma^2)}{E}} \quad (2.7)$$

여기서 h 는 벽의 두께(m), E 는 종탄성계수(N/m²), σ 는 포아송 비, ρ 는 벽의 밀도(kg/m³)이다.

벽의 두께가 얇으면 임계주파수는 높아져 벽체의 차음 성능에 영향이 적다. 그러나 벽체가 두꺼워지면 임계주파수가 차음 성능에 영향을 미치는 중, 저주파수까지 내려가 일치효과가 발생하기 때문에 벽체의 투과손실을 현저하게 저하시킬 수 있다.¹⁰⁾

2.2.2 이중 벽체

단일벽의 경우 질량법칙에 따라 벽 두께를 2배로 늘려도 투과손실은 6dB 밖에 증가하지 않으며, 벽의 두께가 증가하면 저주파수 대역에서 일치효과가 발생하기 때문에 차음 성능이 저하될 수 있다.

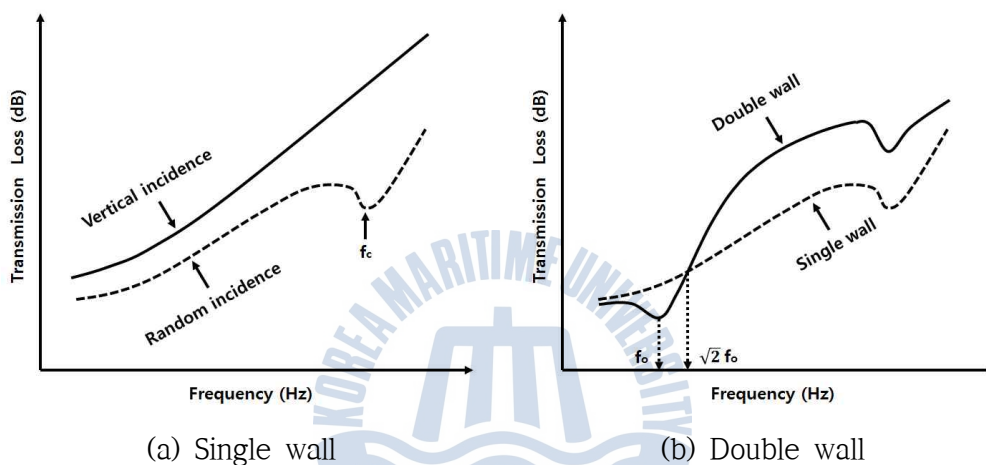


Fig. 2.6 Transmission loss of single and double wall

따라서 두께가 얇더라도 이중벽으로 시공하면 하나의 벽에서 차단된 음이 또 다른 벽에서 차단되기 때문에 각각의 투과손실 값이 합해져 단일 벽에 비해 차음 성능이 훨씬 유리하게 되며, 이중벽 사이에 공기층을 두면 투과손실이 더욱 개선된다. 그러나 스태드(stud)에 의해 2개의 벽이 하나로 연결되면 음교(sound bridge)가 발생하여 차음 성능이 저하하므로 음교가 발생하지 않도록 독립 스태드 방식으로 하여 진동분리를 충분히 시켜주는 것이 유리하다.

또한 중공 이중벽의 경우 투과손실은 같은 질량을 갖는 단일벽에 비해 중고음역에서는 유리하지만 저음역에서는 공명투과손실이라는 현상이 발생하여 투과손실이 매우 불리하게 된다. 따라서 이중벽의 설계 시 이를 방지하기 위해

서 공기층 내에 압면, 유리면 등을 충전 시키면 (3 ~ 10)dB 정도 투과손실이 개선된다.³⁾

이중벽의 저음역 공명투과 주파수(f_o)는 다음과 같다.

1) 두 벽체의 질량이 동일할 경우는

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{2\rho}{md}} = \frac{84.3}{\sqrt{md}} \quad (2.8)$$

여기서 c 는 음속(m/s), ρ 는 공기 밀도(1.25 kg/m^3), m 은 면밀도(kg/m^2), d 는 공기층 두께(m)이다.

2) 두 벽체의 질량이 다를 경우는

$$f_o \cong 60 \sqrt{\left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \times m_2} \right)} \times \frac{1}{d} \quad (2.9)$$

여기서 m_1 , m_2 는 두 벽체의 면밀도(kg/m^2), d 는 이중벽의 두께(m)이다.



제 3 장 벽체의 차음 성능 측정 및 평가

3.1 벽체의 차음 성능 측정

차음 성능을 평가하기 위한 측정 방법으로는 크게 관내법과 잔향실법으로 나뉜다. 관내법은 잔향실법에 비해 정확도는 떨어지는 반면 비용이나 시간적인 면에서 이점이 있기 때문에 제품 개발 단계에서 시료 간의 비교 실험용으로 주로 사용되고 있다. 잔향실법은 KS, ISO 등 국내외 규격에서 제시하고 있는 방법으로 현재 차음 성능 측정방법으로 가장 널리 알려져 있다.

3.1.1 관내법

관내법 측정법은 Seybert와 Ross에 의해 제안되었으며, 두 개의 마이크로폰을 이용한 스펙트럼 밀도 방법으로 차음 성능을 예측하며, 임피던스 측정법이라고도 한다. 실험 장치가 간단하고 측정법도 비교적 쉬워 저비용으로 짧은 기간 내에 많은 데이터를 확보할 수 있는 이점을 가지고 있다. 주로 제품의 개발단계에서 시료간의 성능 비교 실험으로 주로 사용된다. 시료의 차음 성능은 시료를 투과하기 전의 입사파 S_A 와 투과한 후의 투과파 S_T 를 측정하여 투과 손실(transmission loss)을 식(3.1)을 이용하여 구할 수 있다.⁸⁾

$$TL = 10 \log \left(\frac{S_A}{S_T} \right) \quad (3.1)$$

하지만 관내법 실험은 평면파일 경우를 가정한 결과이며, 관 직경의 한계로 측정 가능한 주파수 대역이 한정된다. 또한 시료의 크기가 작다보니 측면 실링부의 마감에 따라, 특히 높은 주파수에서 차음 성능 값이 크게 차이가 나는 경우가 많다.

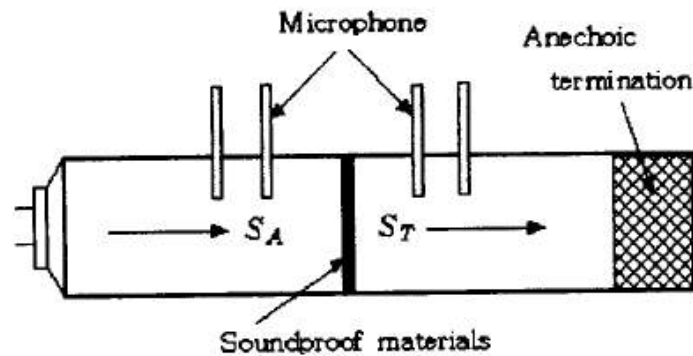


Fig. 3.1 Duct for measuring transmission loss

3.1.2 잔향실법

잔향실 측정법에 대한 전반적인 절차는 ISO 140-3, KS F 2808에 상세히 설명되어 있다. 측정법에 관한 절차를 살펴보면 음원실에서의 음의 발생, 실내 평균 음압레벨 측정, 측정 주파수 범위, 수음실의 잔향시간의 측정 및 등가흡음력의 산출, 배경소음 영향의 보정, 음향감쇠계수 산출 등으로 구분하여 구체적인 순서를 규정하고 있다.

음원은 측정주파수 대역마다 밴드 노이즈를 이용하는 방법과 함께 광대역 노이즈 사용도 가능하도록 규정하고 있으며, 단지 이 경우에는 특히 수음실에서의 신호 대 잡음비의 확보, 음압 스펙트럼 특성(앞 뒤 주파수 대역의 레벨차가 6 dB 이상 되어서는 안 된다) 등에 주의를 필요로 하고 있다.

음원 스피커에 대해서도 복수의 스피커로 이루어지는 음원 및 복수의 음원 스피커를 동시에 사용하는 경우의 주의사항, 방사 지향특성 등을 상세하게 규정하고 있다. 그리고 과거 규격과 달리 개정 규격에서는 음원 설치 위치를 적어도 2개소로 하는 것으로 되어 있다. 이 경우 음원실 내의 다른 점에 설치하

는 보통의 방법 이외에 음원실과 수음실을 서로 바꾸어서 1개소 또는 그 이상의 음원 위치에서 측정을 반복하는 방법도 포함하고 있다. 이와 같이 음원을 고정하는 방법 대신에 음원 스피커를 연속적으로 이동시키는 방법도 가능하지만, 이 방법에 대해서는 향 후 충분한 검토가 요구된다. 또한 시료의 한쪽 면이 다른 쪽 면에 비하여 흡음성이 현저하게 높은 경우에는 흡음성이 높은 면이 음원실에 향하도록 하는 주의사항이 첨가되어 있다.

실험실에서 실내 평균음압레벨을 측정하는 방법으로서 복수의 측정점에 마이크로폰을 고정하는 방법(고정 마이크로폰법)과 하나의 마이크로폰을 연속적으로 이동하는 방법(이동 마이크로폰법)이 있다. 그 어느 방법에서도 과거와 같이 소음계 눈금을 바로 읽는 (또는 레벨 레코더에 의한 기록을 읽는 것) 방법 대신에 적분형 소음계의 적분평균 기능을 이용하여 측정시간 내의 등가음압레벨을 읽는 방법이 규정되어 있다.

측정 주파수 대역은 과거 규격에서는 중심주파수가 125Hz ~ 4,000Hz의 1/3 옥타브 밴드이었으나, 본 규격에서는 100Hz와 5,000Hz의 2개의 대역이 첨가되어 전체 18개의 대역에 대하여 측정하는 것으로 되어 있다. 또한 저주파수 대역의 측정이 필요한 경우에는 50Hz ~ 80Hz 대역에 대하여 측정을 추가할 수 있도록 하였다.^{15) 19)} 여기에서 사용되는 음향 용어는 아래와 같다.

1) 실내 평균음압레벨

실내 평균음압레벨(average sound pressure level in a room)은 어느 공간 내의 동일한 시점에서 발생하는 전체 음압레벨의 평균값을 말하며, 대상으로 하는 실내에서의 공간 및 시간적인 평균 제곱 음압을 기준 음압의 제곱으로 나눈 값의 상용 대수를 10배 한 값이다. 공간적인 평균은 음원 근처의 직접음 영역, 벽 등의 실 경계의 근접 음장을 제외한 공간 전체에 대하여 실시한다. 음원실과 수음실 각각에 대하여 측정 주파수 대역마다 전체 측정 결과에서 측정된 음압레벨의 에너지 평균값(L)은 식(3.2)로 계산한다.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \quad (3.2)$$

여기에서 L_i 는 i 번째 측정점에서 음압 레벨의 측정값을 나타내며, n 은 측정점 수를 나타낸다.

2) 음압 레벨차

2개의 공간 또는 실, 혹은 실과 공간의 조합에 있어서 음원실과 수음실에서 실내 평균음압레벨을 측정한 이후 그 실간의 음압 레벨의 차이를 계산한 결과를 음압 레벨차(sound pressure level difference)라고 한다. 음원실의 실내 평균음압레벨을 L_1 , 수음실의 실내 평균음압레벨을 L_2 라고 하면 음압 레벨차(D)는 식(3.3)으로 계산된다. 경우에 따라서 이것을 음원실과 수음실 사이의 차음 성능 지시량으로 쓰이는 경우도 있다.

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.3)$$

이러한 음압 레벨차는 순수하게 차음 구조벽체 하나만을 평가하는 것이 아니라 2개의 공간이나 실간에서 발생할 수 있는 모든 경로를 통하여 그 결과로서 종합된 차음 성능을 표시하므로 가장 실용적인 평가방법이긴 하다. 그러나 어떠한 차음 구조체의 성능을 평가하기 위해서는 단순히 그 구조체 만이 아니라 그 이외의 많은 전달경로를 포함하고 있기 때문에 그 자료의 해석이 어렵고 또한 일반성이 부족한 단점을 가지고 있다.

3) 잔향 시간 및 등가 흡음력

잔향 시간 T (reverberation time)은 음원의 동작을 멈춘 후 음압 레벨이 60dB 감쇠되는 데까지 걸리는 시간을 말한다. 실제 음압 레벨이 20dB 또는 30dB 감소하는 시간을 측정하고, 시간을 2배 또는 3배로 하는 방법을 이용할

수도 있다. 이는 음압 레벨과 시간이 선형 관계이고 배경 소음 레벨이 충분히 낮은 이상적인 경우에 적용한다.

여기서 수음실의 등가 흡음력 A (equivalent sound absorption area)는 측정된 잔향 시간의 평균값을 이용하여 식(3.4)와 같이 계산한다.

$$A = \frac{0.16 V}{T} \quad (3.4)$$

여기서 V 는 수음실의 체적(m^3)을 말한다.

4) 음향감쇠계수

음향감쇠계수 R (sound reduction index)은 차음 성능을 나타내는 가장 일반화된 지표로서, 음향투과손실(STL , sound transmission loss)과 동일하게 사용되고 있다. 시료에 입사하는 음향 파워(W_1)와 시료를 투과하는 음향 파워(W_2)의 비에 대한 상용 대수의 10배로서 식(3.5)를 이용해 해석한다.

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (3.5)$$

본 연구에서는 ISO 140-3에서 요구되고 있는 실내 평균 음압 레벨 측정을 통한 식(3.6)을 이용하여 음향 감쇠 계수(R)를 산출하였다.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (3.6)$$

여기에서 L_1 과 L_2 는 음원실과 수음실에서의 평균 음압레벨(dB)을 나타내고, S 와 A 는 각각 시료의 면적(m^2)과 수음실의 흡음력(m^2)을 나타낸다. 식(3.6)은 실험실이 완전 확산음장이며, 동시에 시료만을 통하여 수음실로 음이 투과하는 것으로 가정한 것으로 식(3.5)에서 유도된다.

3.2 벽체의 차음 성능 평가

제품마다 적용되는 차음 성능 평가 기준에는 조금씩 차이는 있지만, 현재 국내 육상뿐만 아니라 조선 및 해양에서도 건물 및 건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 평가 지표로는 대부분 R_w 와 STC를 채택하여 사용하고 있다. 아래에서는 이러한 평가 방법에 대해서 기술한다.

3.2.1 R_w 평가법

벽체의 차음 성능을 나타내는 단일 평가지수 중 하나로 ISO 717-1 및 국내 규격인 KS F 2808에서는 가중법(weighting method)에 의한 평가방법으로 Table 3.3의 R_w (weighted sound reduction index) 곡선을 제안하고 있다.

이 규격에서 평가대상 주파수 범위는 1/3 옥타브 밴드의 경우에는 (100 ~ 3,150) Hz, 1/1 옥타브 밴드의 경우에는 (125 ~ 2,000) Hz로 단일수치 평가대상 주파수 범위를 규정하고 있다. 실험실 측정 결과에 대해서는 1/3 옥타브 밴드만 사용하도록 하고 있다. 평가량 산출방법은 기준곡선을 수직상하로 이동하여 기준곡선 아래에 있는 모든 주파수대역별 측정값과 기준곡선과의 값을 뺀 차의 합계가 1/3 옥타브 밴드인 경우는 32dB을 초과하면 안된다. 이와 같은 방법에 의해 기준곡선의 수직이동이 완료되었을 때 500Hz에서의 투과손실이 단일수치 평가량(R_w)으로 평가된다. 이러한 평가와 더불어 필요에 따라 Table 3.2의 스펙트럼 조정항(adaptation term)을 적용시켜서 계산한다. 일반적으로 건물내부의 소음에는 스펙트럼 특성 1, 도로교통소음의 외부소음에는 스펙트럼 특성 2를 이용하는 것으로 규정하고 있다(Table 3.1 참조).^{17) 20)}

Table 3.1 Relevant spectrum adaptation term for different types of noise source

| Type of noise source | Relevant spectrum adaptation term |
|--|-----------------------------------|
| Living activities (talking, music, radio, tv) Children playing Railway traffic at medium and high speed Highway road traffic > 80 km/h Jet aircraft, short distance Factories emitting mainly medium high frequency noise | C (spectrum No. 1) |
| Urban road traffic Railway traffic at low speeds Aircraft, propeller driven Jet aircraft, large distance Disco music Factories emitting mainly low and medium frequency noise | C_{tr} (spectrum No. 2) |

Table 3.2 Sound level spectra to calculate the adaptation terms

| Frequency (Hz) | Sound level (dB) | | | |
|---|---------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|
| | Spectrum No. 1 to calculate C | | Spectrum No. 2 to calculate C_{tr} | |
| | One-third-octave | Octave | One-third-octave | Octave |
| 100 | -29 | -21 | -20 | -14 |
| 125 | -26 | | -20 | |
| 160 | -23 | | -18 | |
| 200 | -21 | -14 | -16 | -10 |
| 250 | -19 | | -15 | |
| 315 | -17 | | -14 | |
| 400 | -15 | -8 | -13 | -7 |
| 500 | -13 | | -12 | |
| 630 | -12 | | -11 | |
| 800 | -11 | -5 | -9 | -4 |
| 1,000 | -10 | | -8 | |
| 1,250 | -9 | | -9 | |
| 1,600 | -9 | -4 | -10 | -6 |
| 2,000 | -9 | | -11 | |
| 2,500 | -9 | | -13 | |
| 3,150 | -9 | - | -15 | - |
| Note - all levels are A-weighted and the overall spectrum level is normalized to 0 dB | | | | |

Table 3.3 Reference values for R_w curve

| Frequency (Hz) | Reference values (dB) | |
|-------------------|------------------------|--------------|
| | One-third-octave bands | Octave bands |
| 100 | 33 | 36 |
| 125 | 36 | |
| 160 | 39 | |
| 200 | 42 | 45 |
| 250 | 45 | |
| 315 | 48 | |
| 400 | 51 | 52 |
| 500 | 52 | |
| 630 | 53 | |
| 800 | 54 | 55 |
| 1,000 | 55 | |
| 1,250 | 56 | |
| 1,600 | 56 | 56 |
| 2,000 | 56 | |
| 2,500 | 56 | |
| 3,150 | 56 | - |

3.2.2 STC 평가법

벽체의 차음 성능을 나타내는 단일 평가지수 중 하나로 ASTM E 413에서는 가중법(weighting method)에 의한 평가방법으로 Table 3.4의 STC(sound transmission class) 곡선을 제안하고 있다. STC 기준곡선은 1/3 옥타브 밴드의 경우 (125 ~ 400)Hz까지는 15dB, (400 ~ 1,250)Hz까지는 5dB 증가하며 1,250Hz 이상에서는 평탄한 특성을 보인다. 1/1 옥타브 밴드의 경우 (125 ~ 250)Hz까지는 9dB, (250 ~ 500)Hz까지는 7dB, (500 ~ 1,000)Hz까지는 3dB, (1,000 ~ 2,000)Hz까지는 1dB의 증가 특성을 보인다. STC 평가량은 현재 우리나라의 건축 분야에는 적용되지 않고 있으며, 주로 해상 분야(선박, 플랜트 등)에만 적용되고 있다.

전체적인 평가 방법은 3.2.1의 R_w 평가법과 거의 유사하며, 단지 평가주파수 범위와 8dB 규칙을 적용한다는 점이 R_w 평가법과 비교되는 점이다. R_w 평가법은 평가 주파수 범위가 (100 ~ 3,150)Hz인 반면 STC 평가법은 (125 ~ 4,000)Hz까지 평가한다. 그리고 R_w 평가법에서 필요에 따라 적용되는 스펙트럼 보정항(C , C_{tr}) 대신에 8dB 규칙을 적용하여 평가하고 있다.

벽체의 투과손실 측정 결과를 평가하기 위한 차음지수(STC) 산정 방법은 다음과 같다. 먼저 STC 기준곡선을 수직상하로 이동하여 기준곡선 아래에 있는 모두 주파수 대역별 투과손실 값과 기준곡선과의 값을 뺀 값의 합계가 1/3 옥타브 밴드인 경우는 32dB, 1/1 옥타브 밴드인 경우는 10dB를 초과하면 안 되고 이를 측정 주파수의 전체 개수(1/3 옥타브 대역인 (125 ~ 4,000)Hz는 주파수 개수인 16, 1/1 옥타브 대역인 (125 ~ 2,000)Hz는 주파수 개수인 5)로 나눈 평균값이 2dB 이하가 되어야 한다. 또한 STC 기준곡선 아래에 있는 단 하나의 투과손실 값도 기준곡선과 최대 차이가 8dB를 초과하지 않도록 한다. 이와 같은 방법에 의해 STC 기준곡선의 수직이동이 완료되었을 때 500 Hz에서의 투과 손실이 차음지수 값으로 평가된다.¹³⁾

Table 3.4 Reference values for STC curve

| Frequency (Hz) | Reference values (dB) |
|-------------------|--------------------------|
| 125 | -16 |
| 160 | -13 |
| 200 | -10 |
| 250 | -7 |
| 315 | -4 |
| 400 | -1 |
| 500 | 0 |
| 630 | 1 |
| 800 | 2 |
| 1,000 | 3 |
| 1,250 | 4 |
| 1,600 | 4 |
| 2,000 | 4 |
| 2,500 | 4 |
| 3,150 | 4 |
| 4,000 | 4 |

제 4 장 ISO 140-1 잔향실 특성이 벽체의 차음 성능에 미치는 영향

4.1 실험 개요

본 연구는 잔향실 측정법에 준하여 진행하였으며, 사용된 실험 대상 벽체는 마그네슘 보드와 콘크리트 패널로 구성된 200T 건식벽체로 차음 성능(R_w , STC) 59dB의 고차음 벽체를 사용하였다. 벽체의 상세 구조는 Table 4.1에서 보여준다. 여기서 고차음 벽체를 선정한 이유는 측로 전달음에 대한 영향을 명확히 확인하기 위함이다.

Fig. 4.1에서는 벽체의 차음 성능 측정에 관한 전반적인 개략도이다. 실험실은 음원실과 수음실로 구성되어 있으며, 실간 사이에 실험 대상이 설치된다. 실험실 체적은 음원실, 수음실 각각 57.0 m^3 , 51.3 m^3 으로 ISO 140-1에서 요구되어지는 10% 이상 차이를 가진다. 실험실의 상세 사양은 Table 4.2에서 보여주며, 본 실험에 사용된 측정 장비는 Table 4.3과 같다.

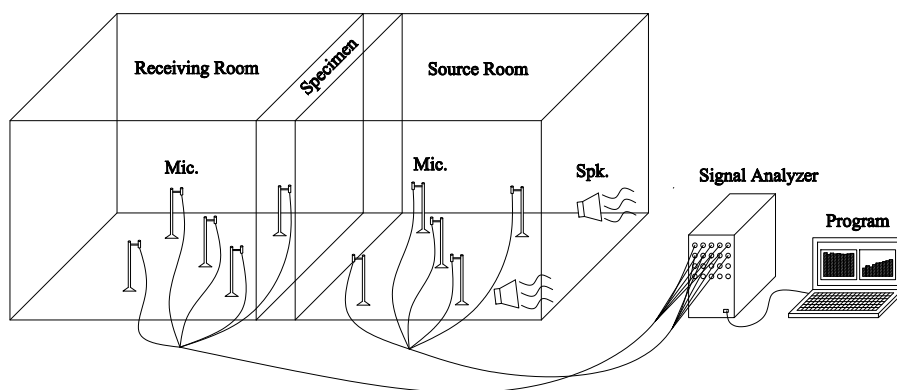


Fig. 4.1 Measurement diagram

Table 4.1 Specification of test specimen

| Structure | Thickness (mm) | Performance (dB) |
|---|----------------|---------------------|
| Magnesium Board 6T + Concrete Panel 50T + Polyester Insulation 24K, 50T + Air Gap 38T + Concrete Panel 50T + Magnesium Board 6T | 200 | R_w 59, STC 59 |

Table 4.2 Specification of test room

| Test room | L (m) | W (m) | H (m) | Volume (m ³) | Surface area (m ²) |
|----------------|-------|-------|-------|--------------------------|--------------------------------|
| Source room | 5.0 | 3.8 | 3.0 | 57.0 | 90.5 |
| Receiving room | 4.5 | 3.8 | 3.0 | 51.3 | 84.1 |

Table 4.3 Measurement equipment

| No. | Equipment name | Manufacturer | Model |
|-----|-------------------------------|----------------------------|------------|
| 1 | Multi channel signal analyzer | RION | SA-01 |
| 2 | Microphones | G.R.A.S | 40AE |
| 3 | Microphones preamplifier | G.R.A.S | 26CA |
| 4 | Microphone calibrator | RION | NC-74 |
| 5 | Omni-directional speaker | Wakabayasi Acoustic Design | SS-05T |
| 6 | Lower frequency speaker | VASCOM | SR 4145SUB |

4.2 수음실 흡음력의 영향

4.2.1 측정 개요

차음 측정 편차의 원인이 실의 공진에 의한 저음의 모드중첩에 의한 것이기 때문에 저음의 모드를 줄일 수 있다면 측정편차는 그만큼 줄어들 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이러한 근거로 ISO 140-1에서는 수음실의 잔향시간(T)을 수음실의 용적(V)과 관련하여 저주파수 대역의 잔향시간을 다음 식(4.1)의 한계 이내로 유지할 것을 규정하고 있다.¹⁸⁾

$$1s \leq T \leq 2(V/50)^{2/3}s \quad (4.1)$$

따라서 ISO에서 제안하는 수음실의 저음 잔향시간을 일정 한계 이내로 줄여 모드의 발생을 제어한다면 측정의 편차를 상당 부분 줄일 수 있을 것으로 기대된다. ISO 140-1 실험실 조건으로 조정하기 위해 사용된 흡음재료로는 Fig. 4.2의 벽면에 부착하는 패널형 흡음재와 모서리에 설치할 수 있는 베이스트랩 등이 사용되었다. 공실과 흡음재가 설치된 실의 측정 장면은 Fig. 4.3과 Fig. 4.4에 보여준다.



a. Panel type



b. Bass trap

Fig. 4.2 Acoustic absorbent



Fig. 4.3 Measurement scene in empty room

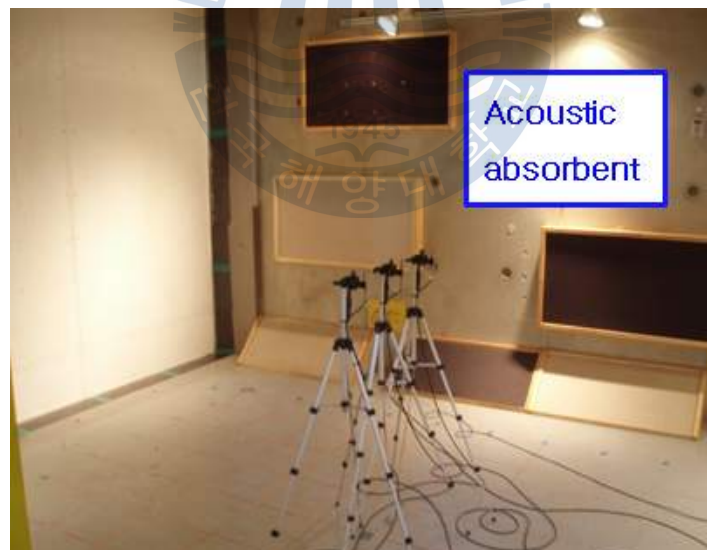


Fig. 4.4 Measurement scene in room installed acoustic absorbent

4.2.2 측정 및 결과 분석

수음실의 흡음력에 따른 영향을 확인해보기 위해 빈 잔향실과 흡음재를 설치한 ISO 140-1 실험실의 잔향시간을 비교해 보았다. 빈 잔향실의 경우 저주파수 대역에서 10초 이상의 긴 잔향시간 특성을 가지며, ISO 140-1 실험실의 경우 전 주파수 대역에서 1초 ~ 2초 범위 내의 짧은 잔향시간 특성을 가진다(Fig. 4.5). 이는 실제 거주공간의 잔향시간과 유사한 특성을 보여준다.

흡음재 설치 후 실내 흡음력이 높아짐에 따라 수음실의 평균 음압레벨도 현저히 줄어든 것을 확인하였다(Fig. 4.6). 특히 공실에서의 벽과 모서리 부근에서 크게 나타났던 저음의 모드 현상이 완화되면서(Fig. 4.9) 100Hz에서는 음압레벨의 표준편차가 5.3dB에서 3.7dB로 1.6 dB 감소하였고, 이에 따라 음향감쇠계수의 표준편차도 1.2dB 감소됨을 확인할 수 있었다(Fig. 4.7).

일반적으로 공실에서는 흡음력이 작기 때문에 울림(ringing) 현상이 발생하게 되며, 동일한 음의 세기가 투과될지라도 흡음력이 큰 실에 비해 상대적으로 음압 레벨이 크게 측정된다. 이러한 이유로 흡음재를 설치한 실에 비해 음향감쇠계수가 낮게 평가될 것으로 예상되지만 실제로는 수음실의 흡음력에 대한 보정값이 더 큰 영향을 미쳐 반대로 과대평가되는 결과를 나타냈다. Fig. 4.8에서 살펴보면, 특히 저주파수 대역인 (100 ~ 315)Hz에서 음향감쇠계수가 크게 나타났으며, 이에 따라 단일수치 평가량인 R_w 와 STC도 각각 2dB 높은 결과를 보였다.

이와 같이 수음실 내에 흡음재를 적절하게 배치하여 실내 음장모드를 완화시킬 경우 저주파수에서의 모드 중첩에 따른 수음점 간의 음압 편차를 완전히 상쇄시킬 수는 없지만 일정량 감소시킬 것으로 판단된다.

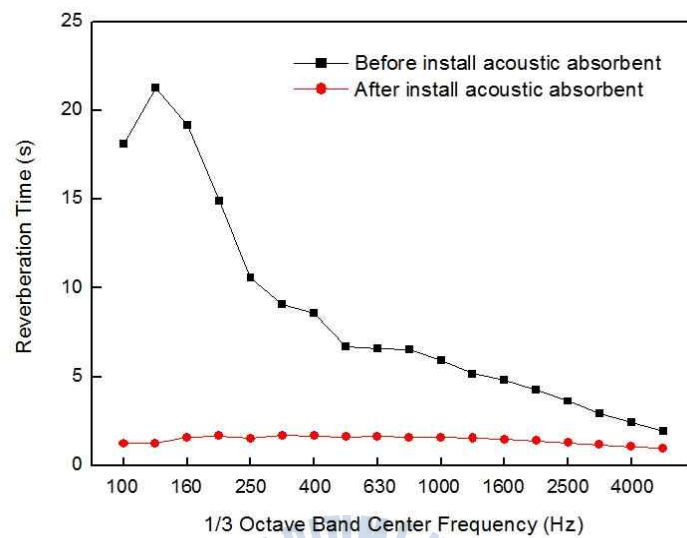


Fig. 4.5 Reverberation time according to install acoustic absorbent

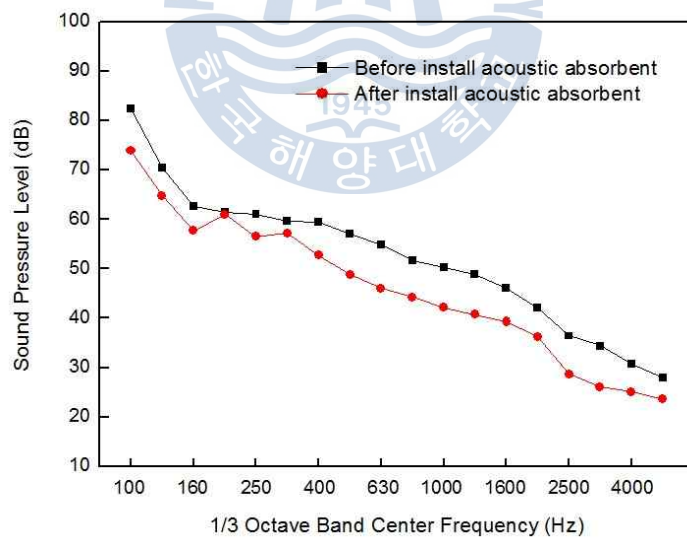


Fig. 4.6 Sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent

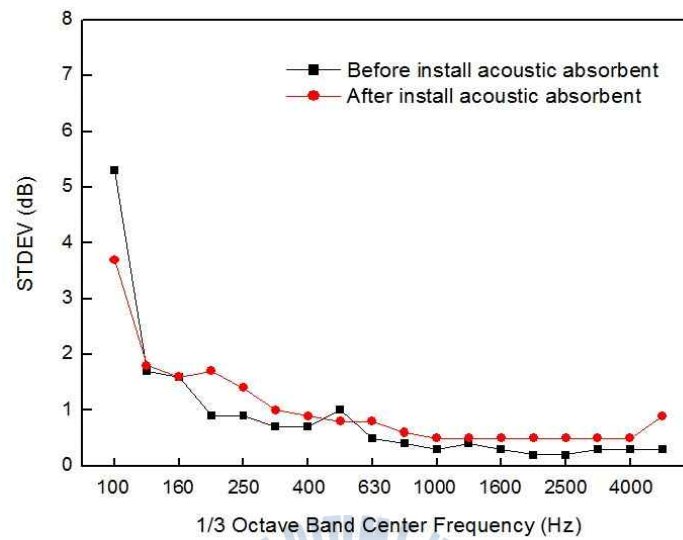


Fig. 4.7 Standard deviation of sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent

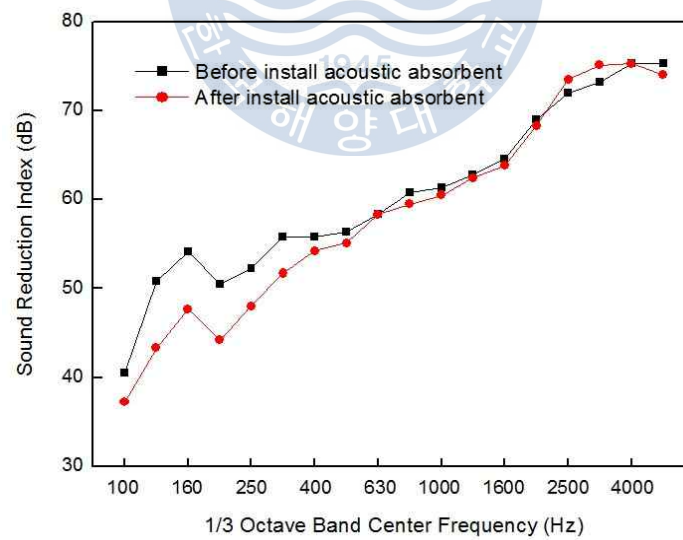
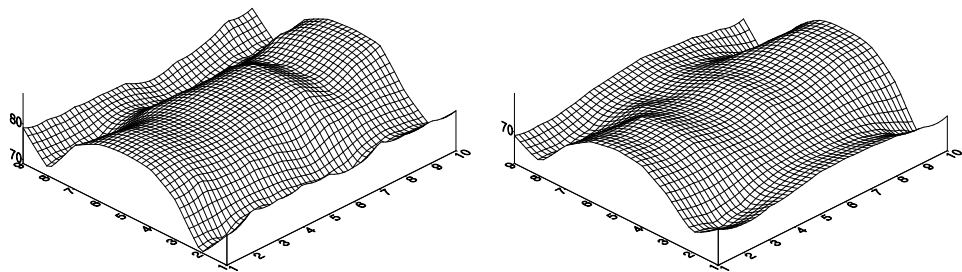
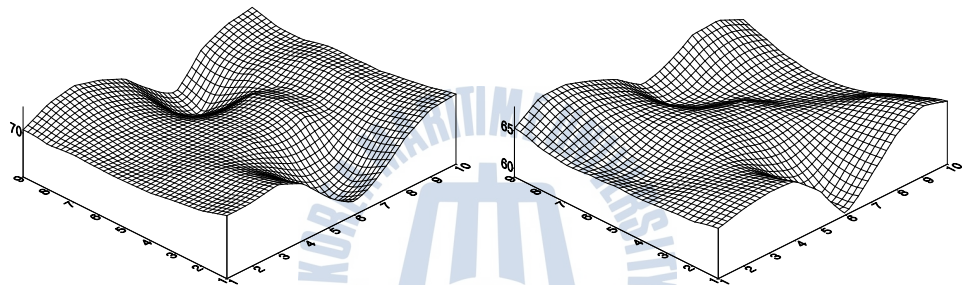


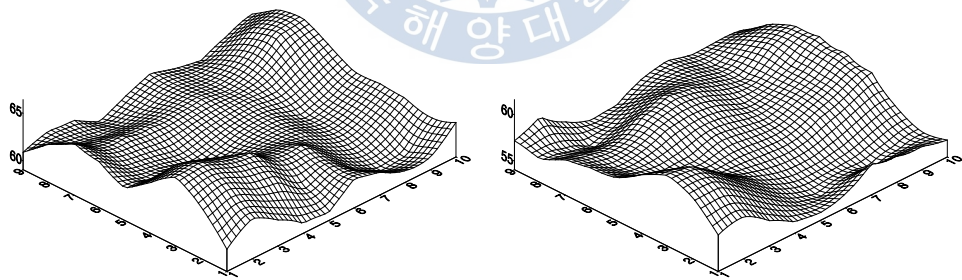
Fig. 4.8 Sound reduction index according to install acoustic absorbent



100 Hz



125 Hz



160 Hz

(a) Empty room

(b) Room installed acoustic absorbent

Fig. 4.9 Distribution of sound pressure level in receiving room according to install acoustic absorbent

4.3 스피커 위치의 영향

4.3.1 측정 개요

음원실과 수음실의 음장은 음원의 종류와 위치에 따라 크게 영향을 받으며 이는 차음 성능에 불리한 결과를 초래할 수도 있다. 이러한 이유 때문에 현행 ISO 규정에도 음원 스피커는 가능하면 확산 음장이 되도록 하며, 시료에 직접 음이 강하게 입사하지 않는 장소의 2군데 이상에 설치하도록 규정하고 있다. 실제 저주파수에서는 확산 음장을 구현하는 것은 거의 불가능하나, 음원실과 수음실의 내의 음압 편차가 최소화되는 스피커 위치를 선정하여 최대한 확산 음장에 가까운 음장을 구현하는 것이 최선의 방안은 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 시료에 직접음을 피하기 위해 시료와 가장 먼 3점(모서리 2점, 중앙 1점)의 스피커 위치를 선정하여, 스피커 위치에 따른 실내 음압 분포 특성을 확인해보았다. 또한 실내 음압 분포를 확인하기 위하여 음원실과 수음실에 각각 90점의 마이크로폰 위치를 선정하였다. 스피커 및 마이크로폰 위치는 Fig. 4.10에 보인다.

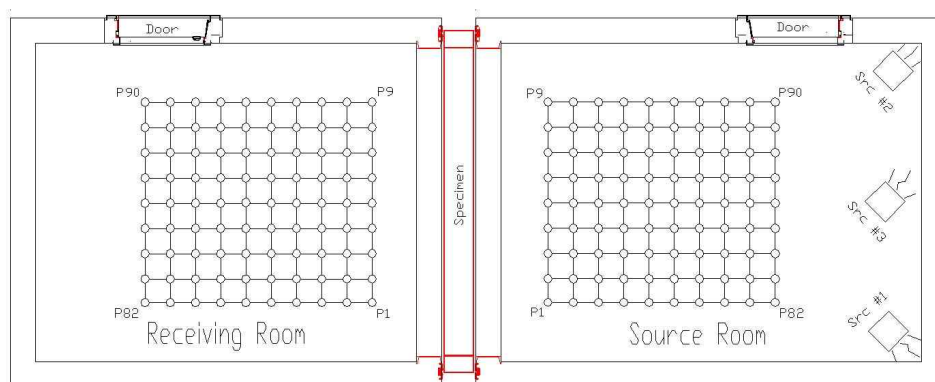


Fig. 4.10 Set-up positions of microphones and speakers



Fig. 4.11 Sound generating scene



Fig. 4.12 Sound measuring scene

4.3.2 측정 및 결과분석

음원실에서 스피커를 가진할 때 가진 위치 및 초기 방사 각도에 따라 실내 음압 분포 특성을 검토하였다. 먼저 음원실에서의 실내 평균 음압레벨을 살펴보면, 저주파수 대역인 (100 ~ 250)Hz 사이에서 스피커 위치별 음압 레벨이 상이하게 나타났는데, 스피커 #1, #2 위치(모서리점)에서는 거의 유사한 스펙트럼 특성을 보이고 있는 반면 #3 위치(중앙점)에서는 매우 다른 스펙트럼 특성을 보인다(Fig. 4.13). 이처럼 지향성 스피커의 경우, 스피커의 가진 위치 및 초기 방사각에 따라 저주파수 대역에서의 음압 특성에 영향을 미치는 것으로 보인다.

Fig. 4.14, Fig. 4.15에서 보면 스피커 #3 위치(중앙점)에서의 표준 편차가 저주파수와 고주파수 대역 모두에서 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있다. 스피커가 중앙에 위치할 때보다 모서리에 위치하였을 때가 좀 더 안정적인 실내 방사특성을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 실내 분포되는 음압레벨의 표준편차를 줄이고 확산음장을 만들기 위해서는 스피커 위치를 모서리에 배치하여 가진하는 것이 좀 더 유리한 것으로 판단된다.

이러한 음원실과 수음실의 음압 특성을 토대로 스피커 위치별 음향감쇠계수를 Fig. 4.16과 같이 비교해 보았다. 이를 검토하여 보면 대체적으로 유사한 차음 성능 결과를 보이고 있으며, 단일 수치 평가량(R_w , STC) 또한 동일한 값을 보여주고 있다. 스피커 위치에 따라 음원실과 수음실의 평균 음압레벨은 각각 차이를 보였지만 음원실에서 크게 발생된 소리는 시료를 투과하여 수음실에서도 크게 발생되기 때문에 차음 성능에는 별다른 영향을 미치지 못하였다. 하지만 200Hz에서의 음향감쇠계수를 보면 스피커 #3 위치(중앙점)일 경우가 4dB 정도 차이를 보였다. 이러한 차이는 전체 음 에너지에 비하면 적은 수치일 수는 있으나 저주파수 대역에서 편차를 보이는 것은 단일 수치 평가량을 결정하는데 있어서 매우 중요한 대역이기 때문에 차음 성능 측정 시 음원 위치나 설치 방향(특히 지향성 음원의 경우)에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

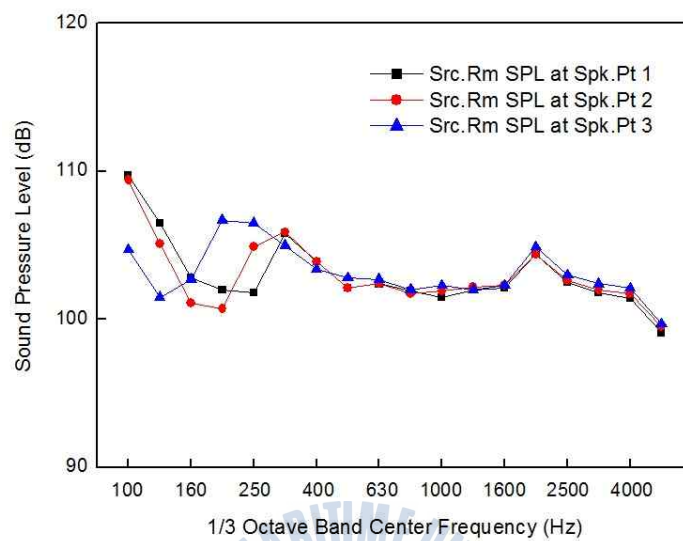


Fig. 4.13 Average sound pressure level in source room

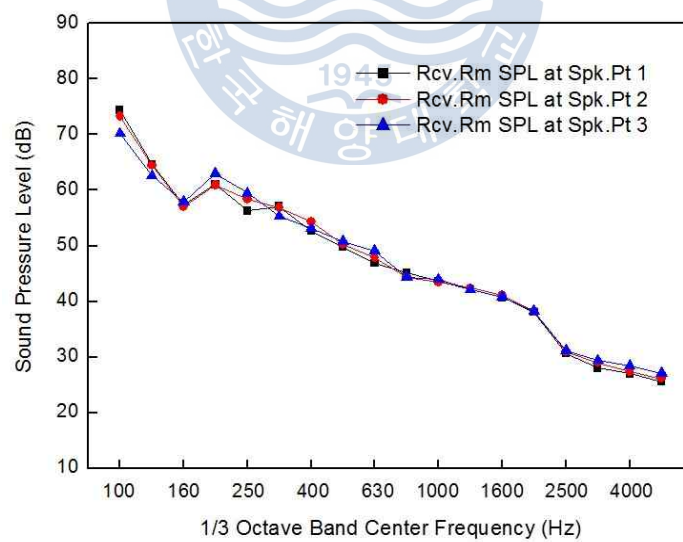


Fig. 4.14 Average sound pressure level in receiving room

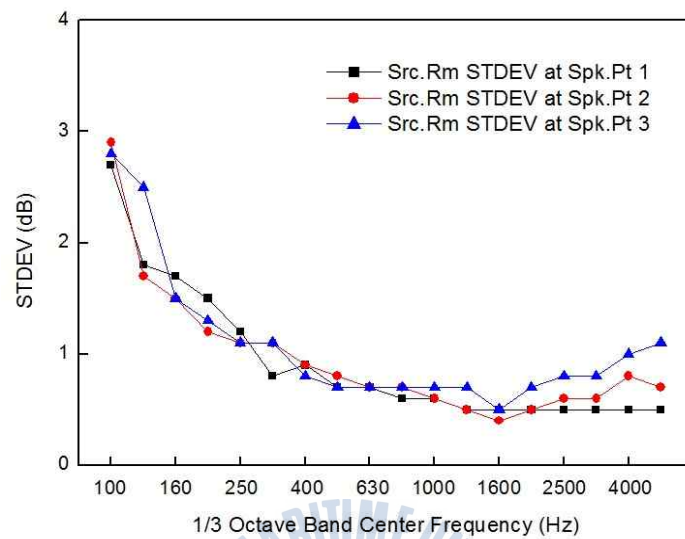


Fig. 4.15 Standard deviation of sound pressure level in source room

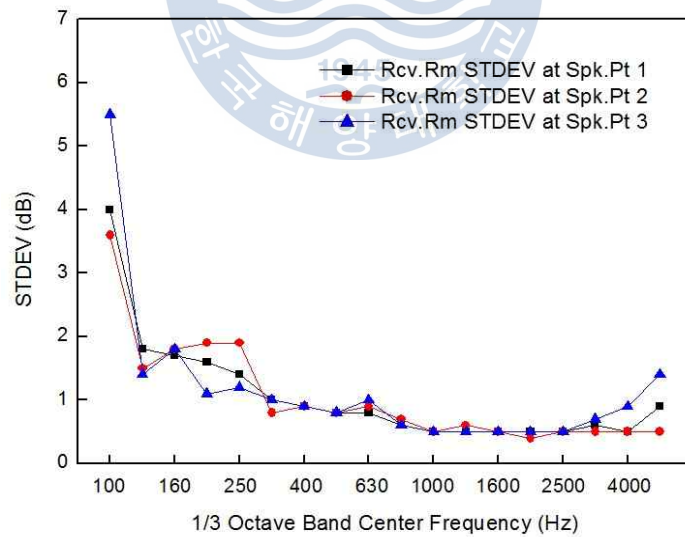


Fig. 4.16 Standard deviation of sound pressure level in receiving room

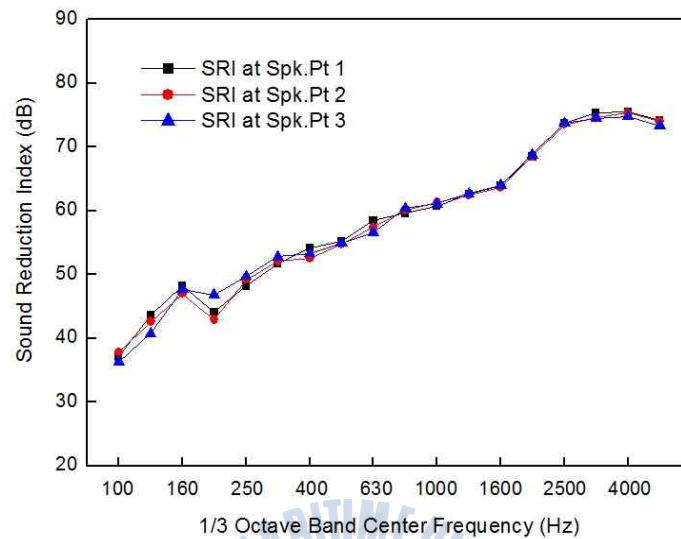


Fig. 4.17 Average sound reduction index by each speaker position

Table 4.4 Single-number quantities by each speaker position

| Single-number quantities | Pt. #1 | Pt. #2 | Pt. #3 | Average |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|
| R_w (dB) | 59 | 59 | 59 | 59 |
| $R_w + C$ (dB) | 58 | 57 | 58 | 58 |
| STC (dB) | 59 | 59 | 59 | 59 |

4.4 마이크로폰 위치의 영향

4.4.1 측정 개요

직방형 실험실의 경우 실험실의 크기에 따라 공진주파수가 결정된다. 본 연구에서 사용된 실험실의 제원은 Table 4.1과 같으며, 실험실의 공진주파수 계산 결과는 Table 4.5와 같다. 단, 여기서 계산한 실험실의 공진주파수는 실내가 완전 직방체이고 완전 반사인 조건을 가정한 것이므로 실제 실험실과는 차이는 있을 수 있다. 본 실험은 실험실의 동일 수평면에서의 음압레벨 분포를 알아보기 위해 바닥면으로부터 1.2m 이격시킨 위치의 횡단면에 대한 음압 분포 특성을 검토하였다. 실험실의 공간을 0.3m 간격인 가로 9점, 세로 10점으로 각각 분할하여 총 90점의 측정점을 선정하였으며, 스피커 위치는 동일하게 3점으로 하여 각 위치별 음압 분포를 확인해 보았다.

4.4.2 측정 및 결과 분석

실내에 분포하는 음압레벨의 변동폭은 스피커 위치와는 상관없이 저주파수 대역인 (100 ~ 315)Hz에서 대략 (5 ~ 15)dB의 차이가 발생되었으며, 100 Hz에서 최소 10dB을 넘는 차이를 보였다. 그리고 100Hz에서의 음압레벨 분포 특성을 살펴보면 음원실, 수음실에서 각각 $f(2,2,0)$, $f(1,2,0)$ 에 대한 2차원 모드가 대체적으로 뚜렷하게 경향을 보이는 반면, 125Hz 대역에서부터 고주파수로 갈수록 뚜렷한 모드를 확인하기가 어렵다.(Fig. 4.32 ~ Fig. 4.34). 이는 주파수 대역이 높아질수록 고차원 모드 중첩에 따라 비대칭적이며 좀 더 복잡한 양상을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 4.26 ~ Fig. 4.28에서는 음원실과 수음실에서 측정된 음압레벨을 이용하여 산출된 음향감쇠계수(sound reduction index, SRI)를 나타낸다. 여기서 말하는 Max.와 Min.은 음원실과 수음실의 최대, 최소 음압레벨을 이용하여

계산된 결과이다. 저주파수 대역에서 상당히 큰 차이가 발생되었으며, 100Hz 에서는 최소 14dB 이상의 차이를 보였다. 또한 마이크로폰 위치별 단일 수치 평가량은 각각 R_w (56 ~ 60)dB, STC (53 ~ 60)dB, R_w+C (53 ~ 59)dB이며 최소 4dB 이상의 큰 오차 범위를 나타내었다(Table 4.6).

이처럼 스피커 위치와 상관없이 저주파수 대역에서 강한 모드현상이 동일하게 나타나고 있다. 이런 조건에서는 규격(ISO 140-3, KS F 2808)에서 요구하는 마이크로폰의 위치인 주위 벽에서 최소 0.7m 이상 이격시킨 5점을 측정자가 임의로 선정하여 측정할 경우 마이크로폰 위치에 따라 음압레벨의 차이가 발생할 수 있게 된다. 이러한 편차를 줄이기 위해서는 공간에 분포하는 실내 평균 음압레벨과 가장 유사한 마이크로폰 위치인 유효 측정점을 선정하는 것이 필요하다.

여기서 유효 측정점이란 실내 평균 음압레벨(90지점)과의 오차 범위 2dB 이하의 측정점을 말한다. 실험을 통해 선정된 유효 측정점 수는 스피커 #1 위치에서 음원실, 수음실 각각 17점, 15점, 스피커 #2 위치에서 음원실, 수음실 각각 18점, 12점, 그리고 스피커 #3 위치에서 음원실, 수음실 각각 15점, 8점으로 각 위치마다 총 20점 이상의 유효 측정점이 나타났으며, 스피커의 #1 위치 > #2 위치 > #3 위치순으로 높게 나왔다. 그리고 스피커 #1, #2, #3 위치에서 공통적으로 만족하는 유효 측정점 수는 음원실, 수음실 각각 2점, 1점으로 나타난 반면, 스피커 #1, #2(모서리점)의 경우에는 공통의 유효 측정점 수가 음원실, 수음실 각각 5점, 6점으로 규격에서 요구하는 최소 5점 이상의 측정점을 확보할 수 있었다(Table 4.7).

이를 바탕으로 하여 유효 측정점에서의 측정 결과와 실내 공간내의 평균 음향감쇠계수를 Fig. 4.28에 비교하였다. 전 주파수 대역에서 거의 일치하는 결과를 보이고 있으며, 이와 같이 유효 측정점에서의 측정을 통해 실내 공간내 분포하는 90점에 대한 평균 음향감쇠계수와 매우 일치하는 차음 성능 결과를 도출할 수 있었다.

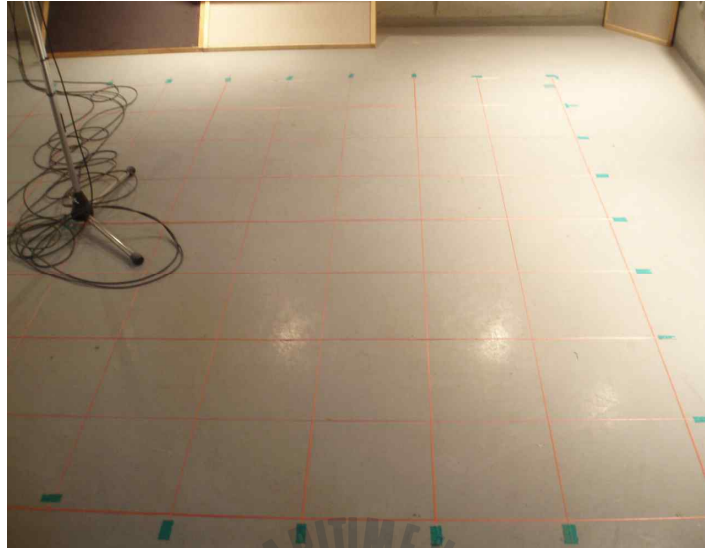


Fig. 4.18 Set-up the microphone positions (Grid)

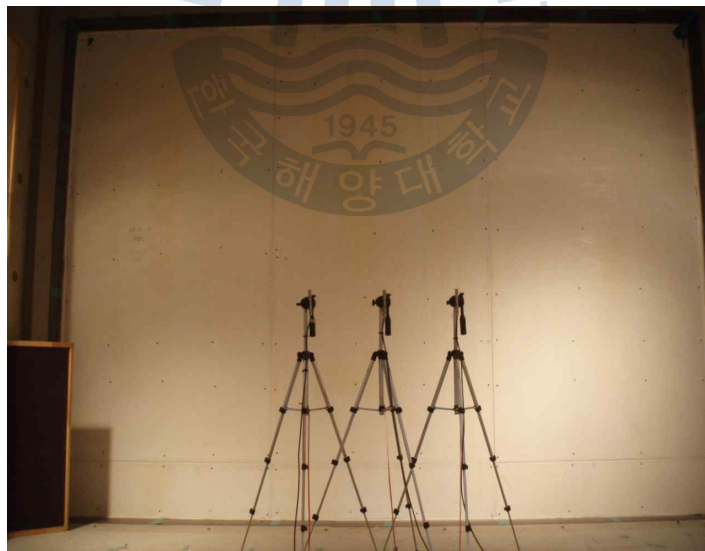


Fig. 4.19 Measurement scene for sound pressure distribution

Table 4.5 Natural frequency in test room by calculation

| n_x | n_y | n_z | f_r (Hz) | |
|-------|-------|-------|----------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Source room (5.0 × 3.8 × 3.0) | Receiving room (4.5 × 3.8 × 3.0) |
| 1 | 0 | 0 | 34 | 38 |
| 0 | 1 | 0 | 45 | 45 |
| 0 | 0 | 1 | 57 | 57 |
| 2 | 0 | 0 | 68 | 76 |
| 0 | 2 | 0 | 90 | 90 |
| 0 | 0 | 2 | 114 | 114 |
| 3 | 0 | 0 | 102 | 114 |
| 0 | 3 | 0 | 134 | 134 |
| 0 | 0 | 3 | 170 | 170 |
| 1 | 1 | 0 | 56 | 59 |
| 1 | 0 | 1 | 66 | 68 |
| 0 | 1 | 1 | 72 | 72 |
| 2 | 2 | 0 | 113 | 117 |
| 2 | 0 | 2 | 132 | 136 |
| 0 | 2 | 2 | 145 | 145 |
| 3 | 3 | 0 | 169 | 176 |
| 3 | 0 | 3 | 199 | 205 |
| 0 | 3 | 3 | 217 | 217 |
| 1 | 1 | 1 | 80 | 82 |
| 2 | 2 | 2 | 160 | 163 |
| 3 | 3 | 3 | 240 | 245 |

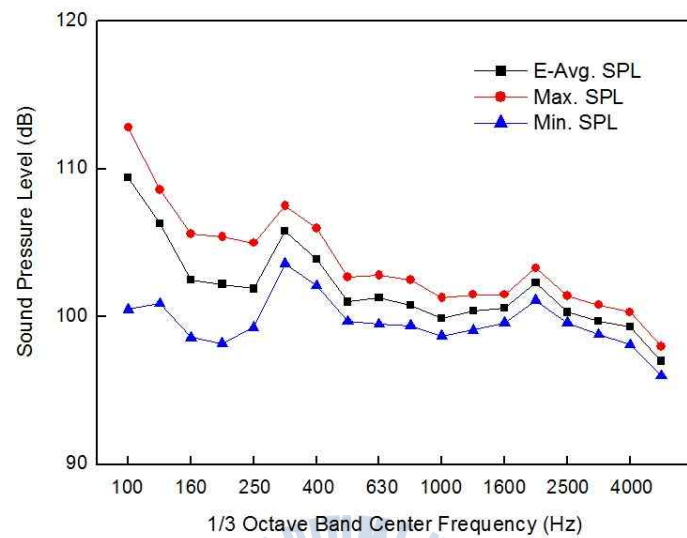


Fig. 4.20 Sound pressure level in source room (speaker position #1)

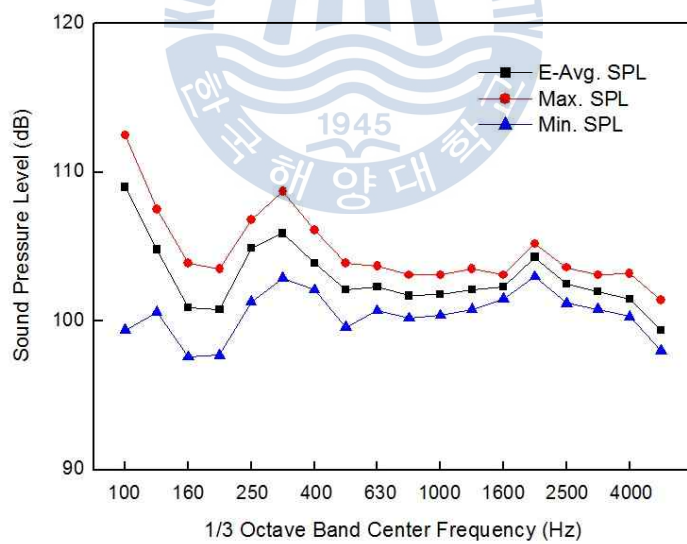


Fig. 4.21 Sound pressure level in source room (speaker position #2)

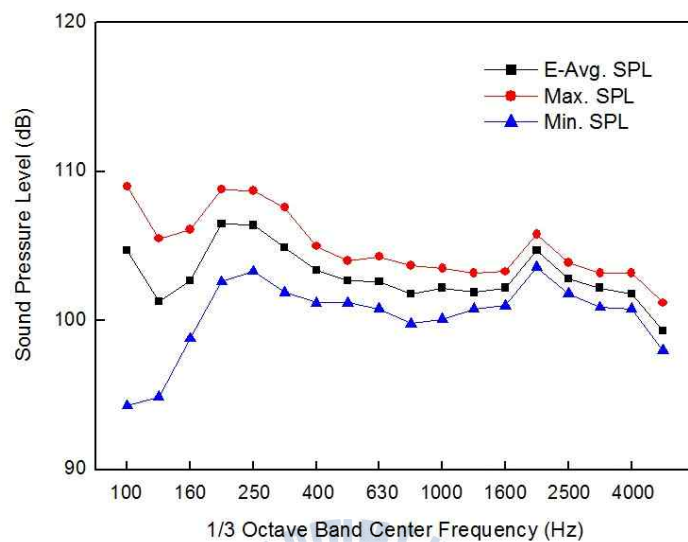


Fig. 4.22 Sound pressure level in source room (speaker position #3)

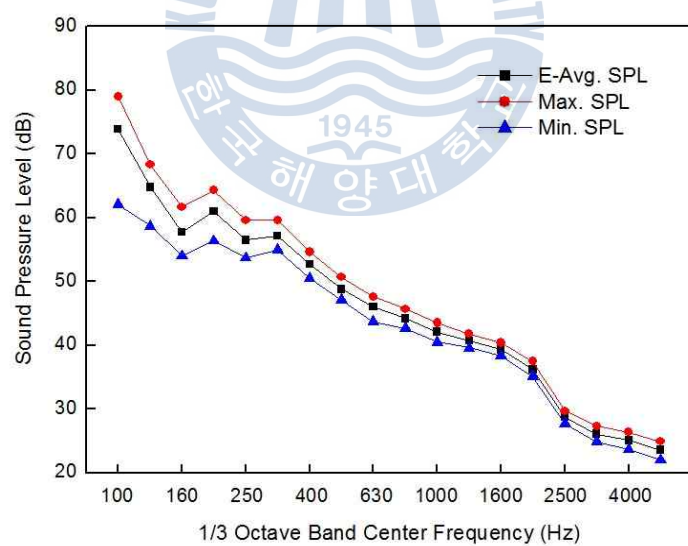


Fig. 4.23 Sound pressure level in receiving room (speaker position #1)

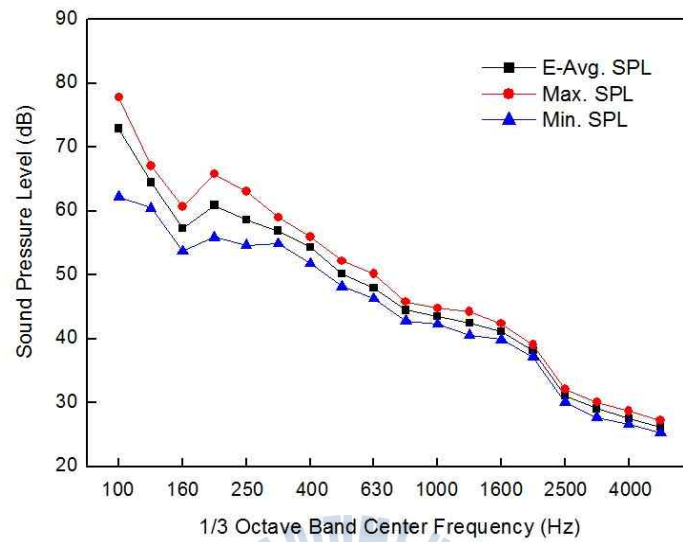


Fig. 4.24 Sound pressure level in receiving room (speaker position #2)

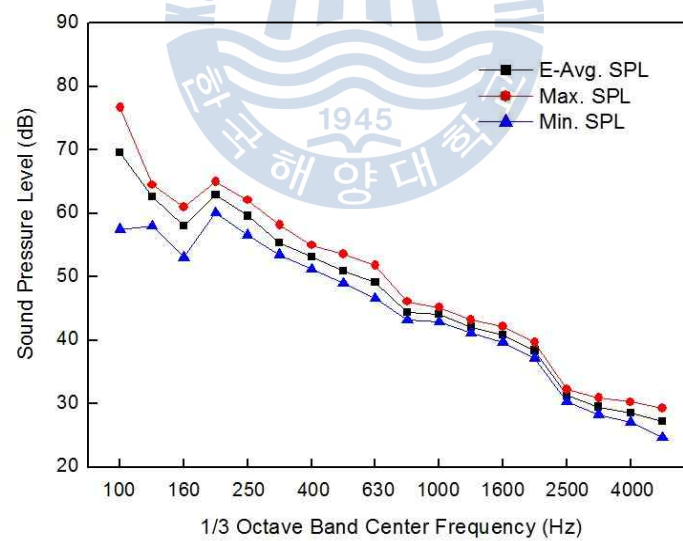


Fig. 4.25 Sound pressure level in receiving room (speaker position #3)

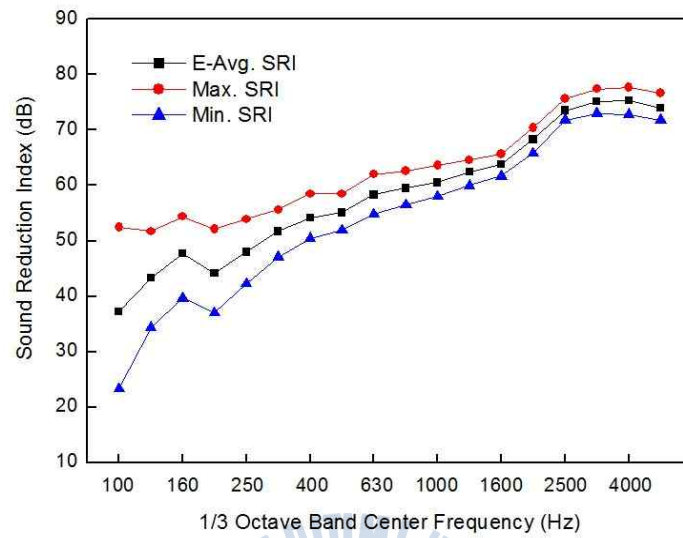


Fig. 4.26 Sound reduction index (speaker position #1)

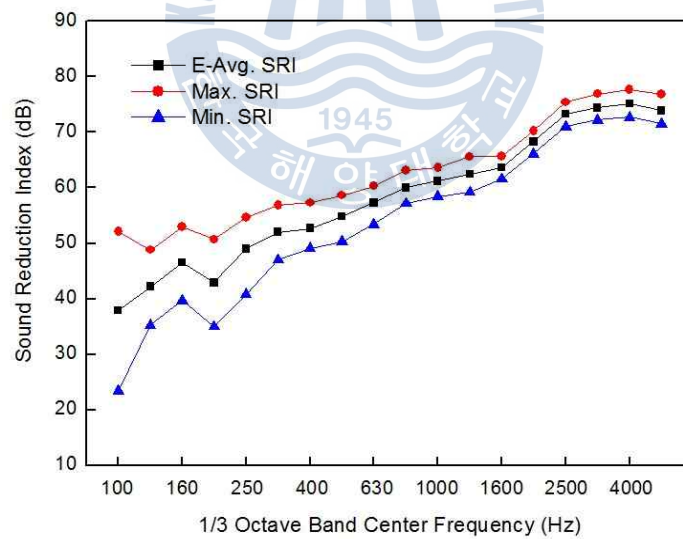


Fig. 4.27 Sound reduction index (speaker position #2)

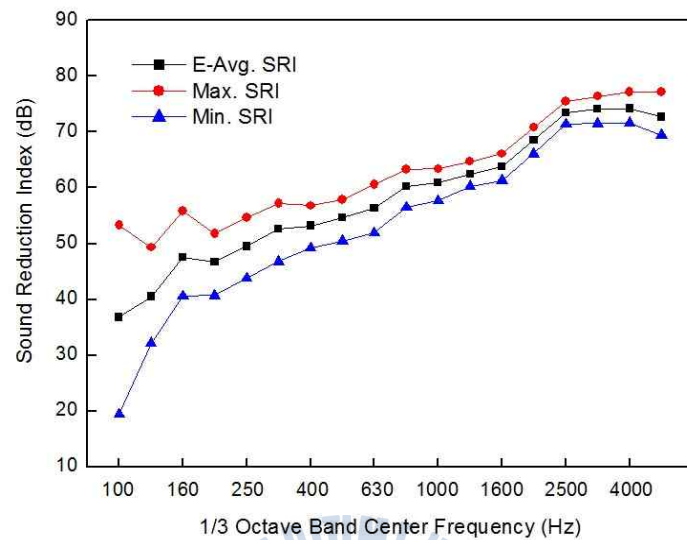


Fig. 4.28 Sound reduction index (speaker position #3)

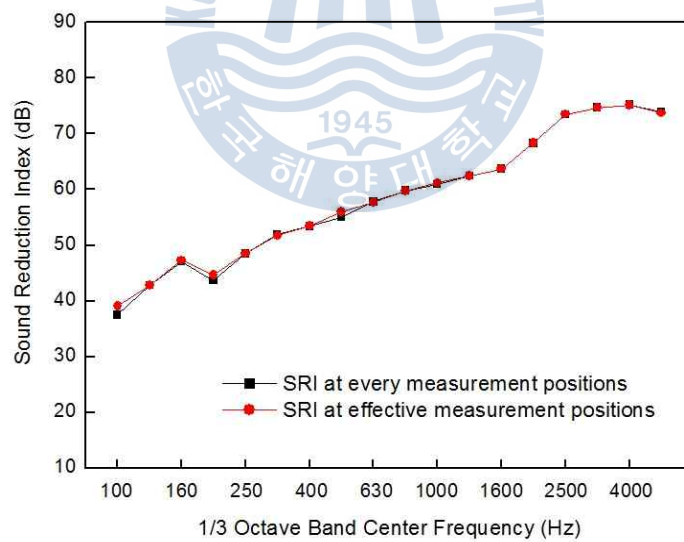


Fig. 4.29 Sound reduction index at effective measurement positions

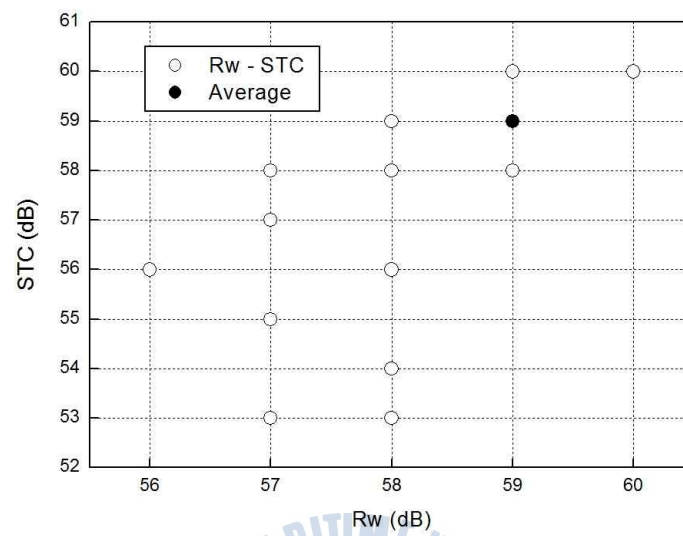


Fig. 4.30 Distribution chart of R_w & STC

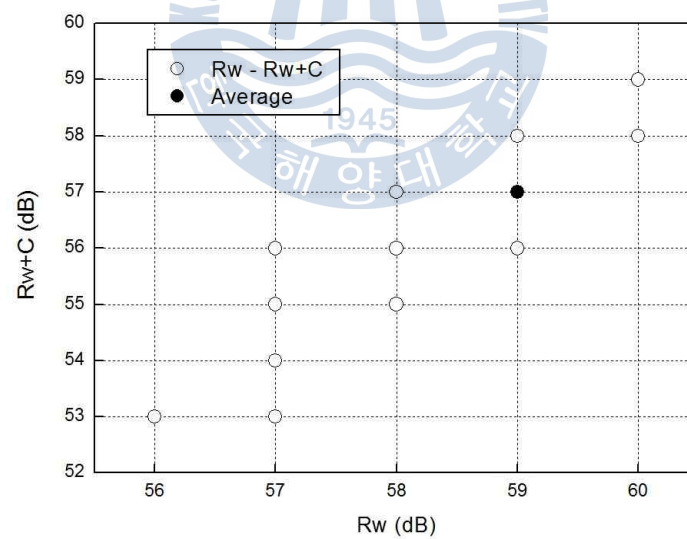


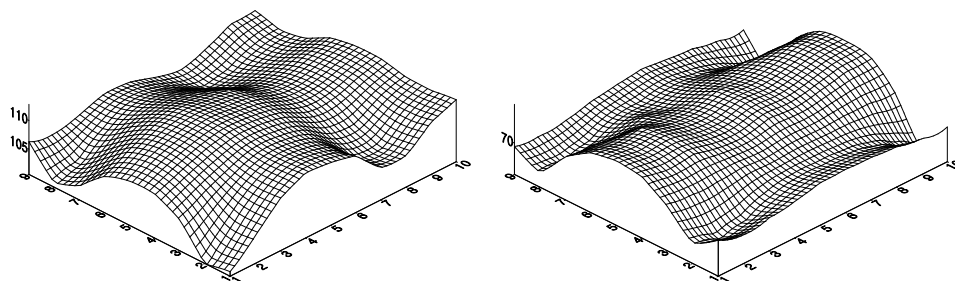
Fig. 4.31 Distribution chart of R_w & R_w+C

Table 4.6 Results range of single-number quantities

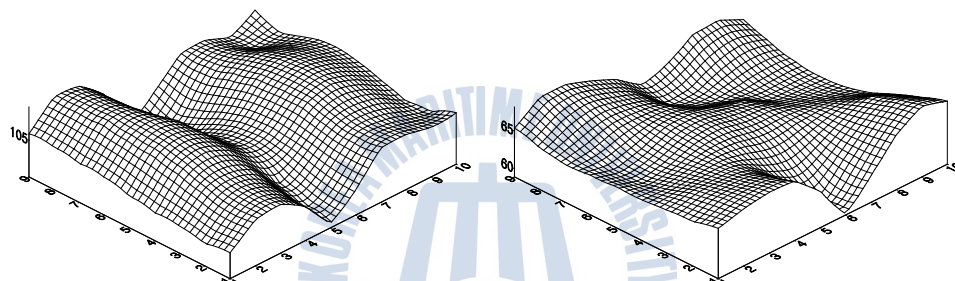
| Single-number quantities | Analysis Indices | | |
|--------------------------|------------------|------|--------|
| | Min. | Max. | E-Avg. |
| R_w (dB) | 56 | 60 | 59 |
| $R_w + C$ (dB) | 53 | 59 | 57 |
| STC (dB) | 53 | 60 | 59 |

Table 4.7 Effective measurement positions by speaker position

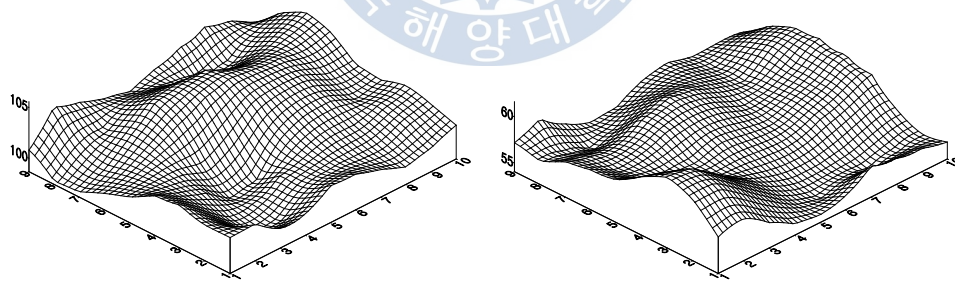
| Test Room | Each | | | Common | |
|----------------|-------|-------|-------|-----------|---------------|
| | Pt #1 | Pt #2 | Pt #3 | Pt #1, #2 | Pt #1, #2, #3 |
| Source room | 17 | 18 | 15 | 5 | 2 |
| Receiving room | 15 | 12 | 8 | 6 | 1 |



100 Hz



125 Hz

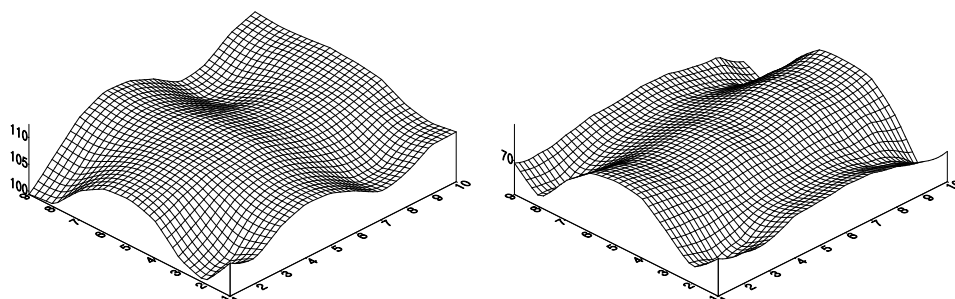


160 Hz

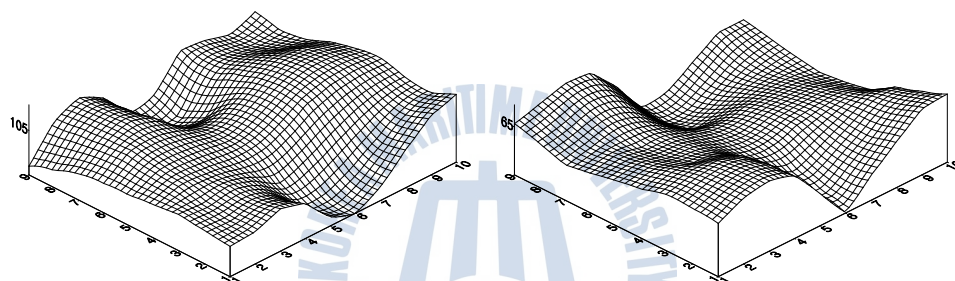
(a) Source room

(b) Receiving room

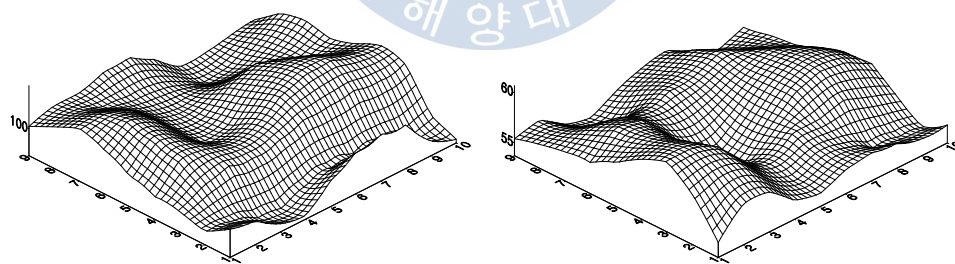
Fig. 4.32 Distribution of sound pressure level (speaker position #1)



100 Hz



125 Hz

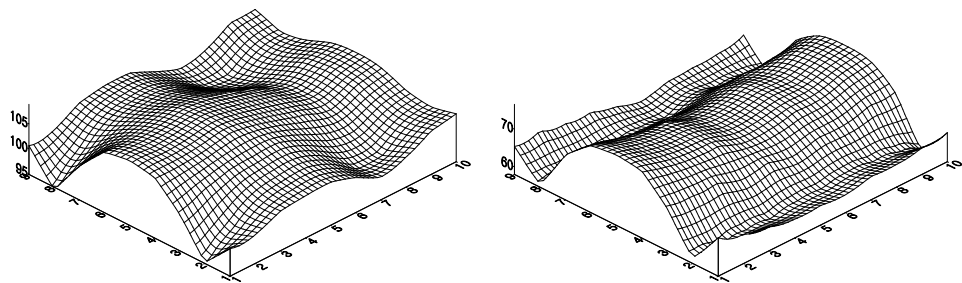


160 Hz

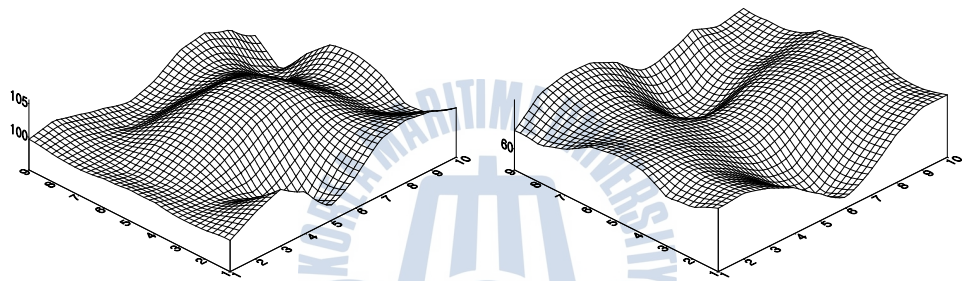
(a) Source room

(b) Receiving room

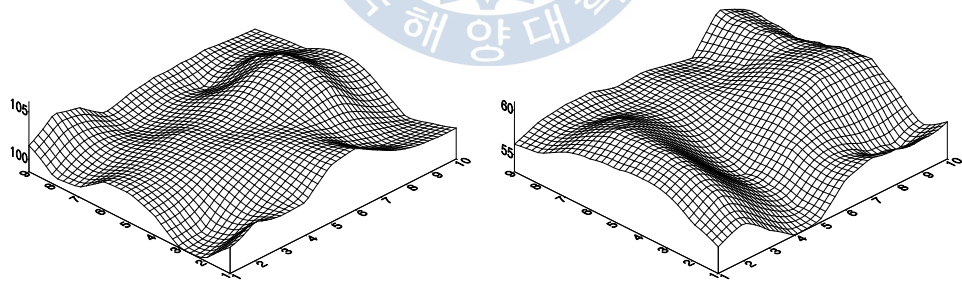
Fig. 4.33 Distribution of sound pressure level (speaker position #2)



100 Hz



125 Hz



160 Hz

(a) Source room

(b) Receiving room

Fig. 4.34 Distribution of sound pressure level (speaker position #3)

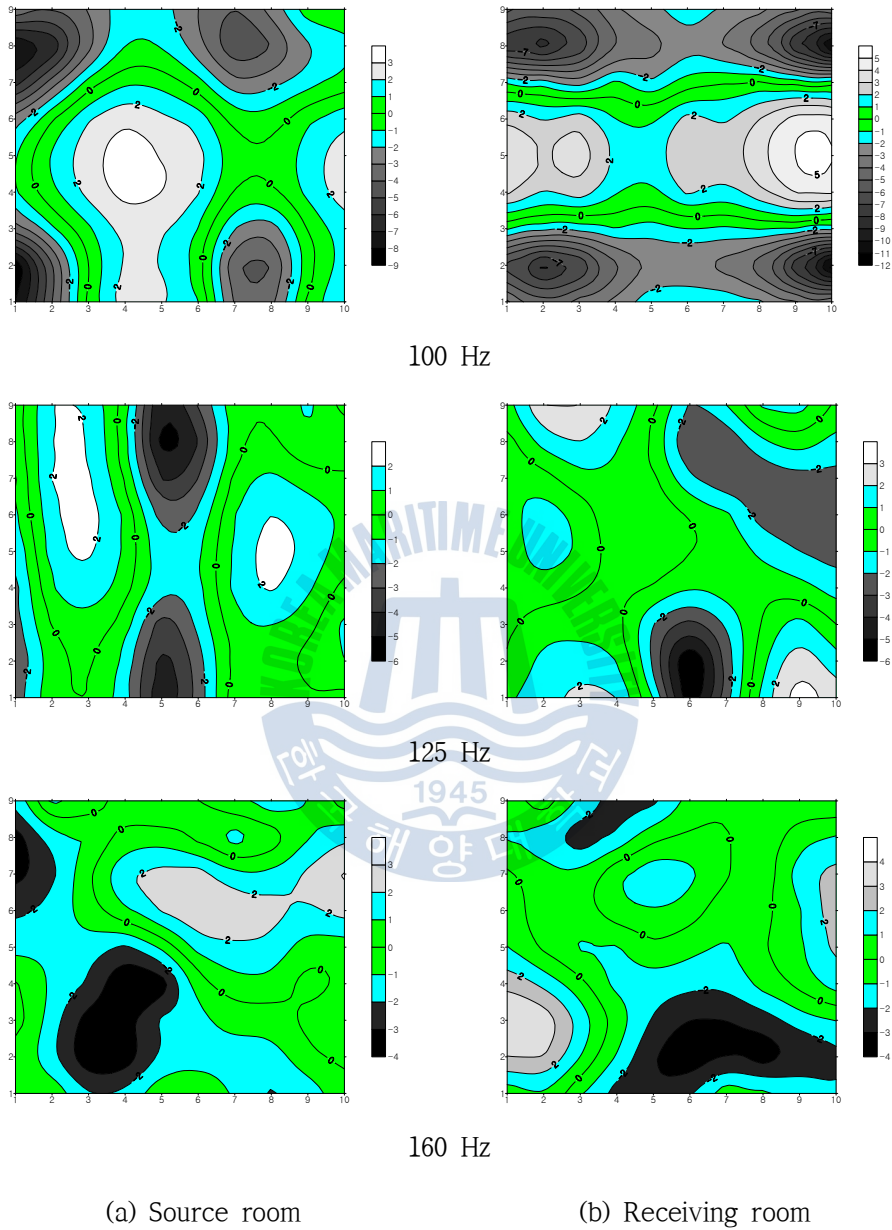


Fig. 4.35 Deviation of sound pressure level (speaker position #1)

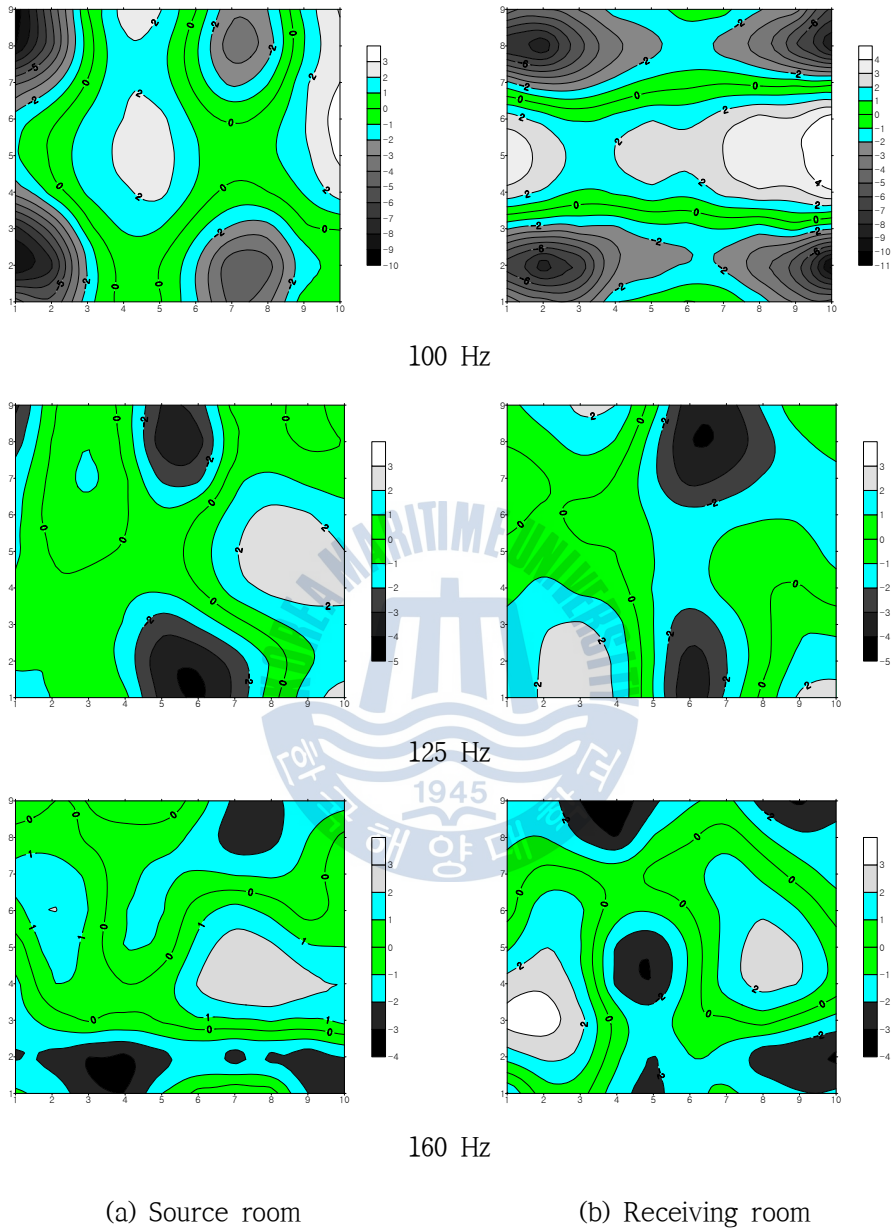


Fig. 4.36 Deviation of sound pressure level (speaker position #2)

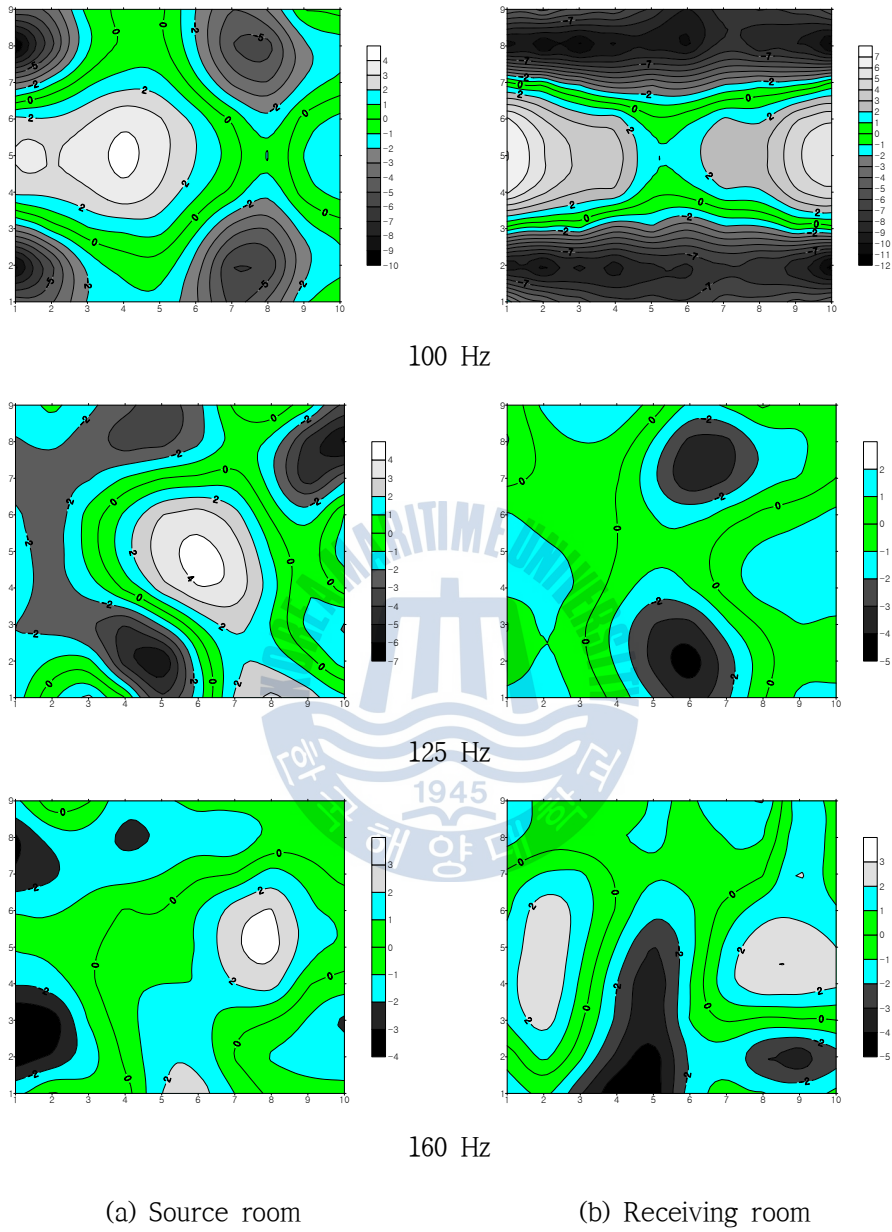


Fig. 4.37 Deviation of sound pressure level (speaker position #3)

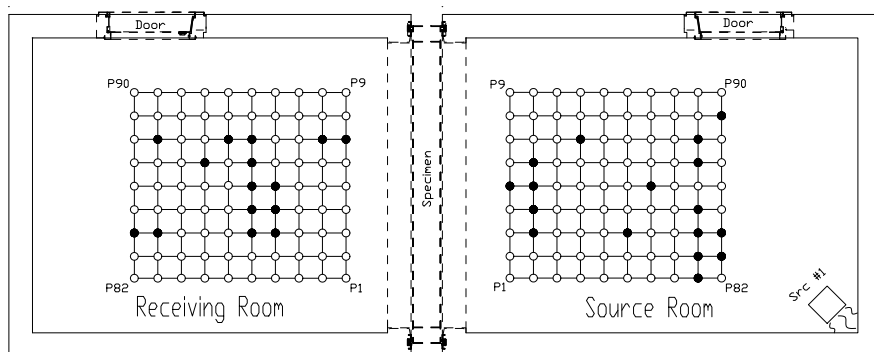


Fig. 4.38 Effective measurement positions (speaker position #1)

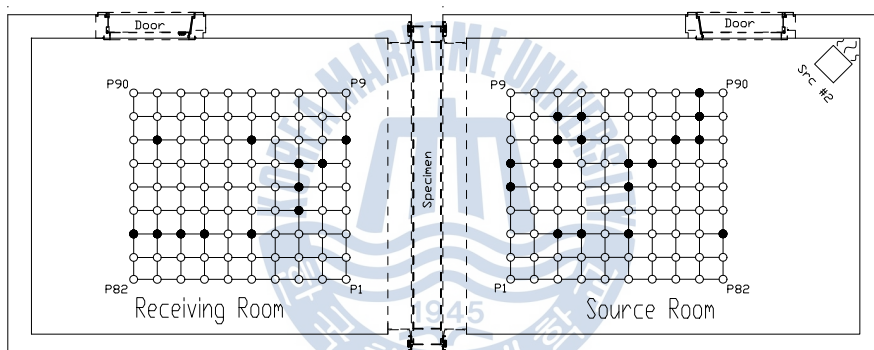


Fig. 4.39 Effective measurement positions (speaker position #2)

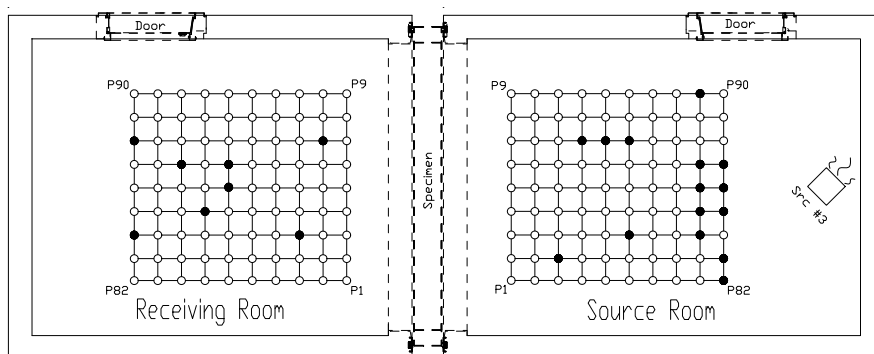


Fig. 4.40 Effective measurement positions (speaker position #3)

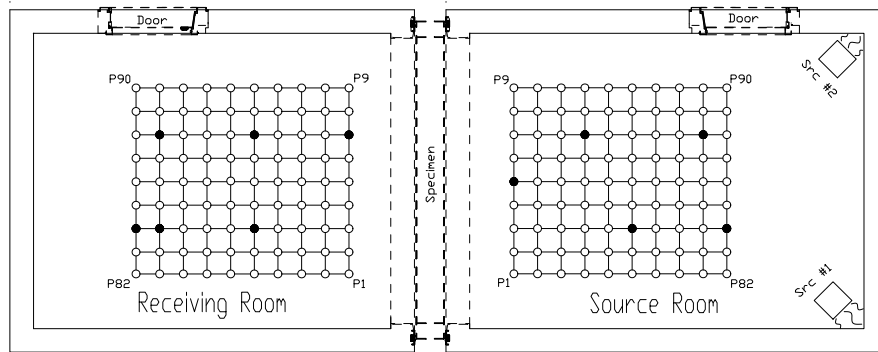


Fig. 4.41 Common effective measurement positions (speaker position #1, #2)

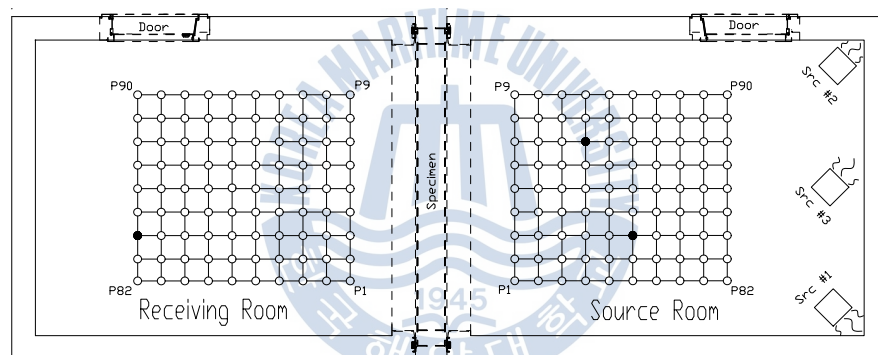


Fig. 4.42 Common effective measurement positions (speaker position #1, #2, #3)

4.5 측로 전달음의 영향

4.5.1 측정 개요

일반적으로 측로 전달음이라고 하면 음 회절에 의한 외부에서 유입되는 소음뿐 아니라 외벽을 통해서 전달되는 고체 전달음까지 포함한다. 이는 차음 성능 측정 시 수음실에 방사되어 음압레벨이 커지는 요인으로 작용한다. 본 연구에서 이용된 실험실의 경우 외부 소음과 진동에 대한 절연 구조로 되어 있기 때문에 외부에서 유입되는 소음 및 진동에 의한 요소를 배제하고 차음 시험 시 외벽을 통해 전달되는 측로 전달음에 초점을 맞춰서 진행하였다.

4.5.2 측정 및 결과 분석

우선적으로 실링 튜브 공기압에 따른 음원실과 수음실 간의 측로 전달음 영향을 알아보기 위해 튜브 공기압에 따른 실험을 진행하였다. 양쪽 튜브의 공기압은 동일하게 (0.5 ~ 2.0)bar 까지 4단계로 설정하였다. 이에 따른 차음 성능 결과는 Fig. 4.45에 보여준다. 저주파수에서는 표준편차가 0.5dB 내외로 나타났고, 그 외 주파수에서는 거의 차이를 보이지 않았으며 단일 수치 평가량 또한 동일한 결과가 나타났다. 따라서 벽체의 차음 성능 평가에 있어서 음원실과 수음실이 완전히 밀폐 조건만 된다면 실링 튜브 공기압에 대한 편차는 무시해도 될 것으로 판단된다.

다음으로 음원실과 수음실의 완전 밀폐 조건하에서 측로 진동 전달에 대한 차음 성능 변화를 살펴보았다. Table 4.9은 측로 전달음 제어를 위한 처리 방법에 대해 기술해 놓았으며, 여기에 사용된 재료는 Table 4.8에서 보여준다. 본 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

Table 4.8 Material to control for flanking transmission

| No. | Material | Purpose |
|-----|-------------------|----------------------------------|
| 1 | Rubber magnet 1T | To reduce the vibration transfer |
| 2 | Polyester 35K 50T | To control the resonance in gap |

Table 4.9 Method to control for flanking transmission

| No. | Used material | Installed room |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Nothing | - |
| 2 | Rubber magnet | Receiving room |
| 3 | | Source room |
| 4 | | Source & receiving room |
| 5 | Polyester + rubber magnet | Receiving room |
| 6 | | Source room |
| 7 | | Source & receiving room |

1) 진동 전달 저감을 위한 고무자석 마감 효과

측로 전달음의 주요 원인 중 하나인 음원실, 실험틀, 그리고 수음실로 전달되어지는 진동 전달을 저감시키기 위해 음원실에서 실험틀, 실험틀에서 수음실로 이어지는 모든 전파 경로에 고무자석을 부착하였다(Fig. 4.44).

Fig. 4.46에서 보면 고무자석을 이용하여 측로 진동 전달을 저감시킴으로써 차음 성능이 향상된 주파수 대역은 (315 ~ 500)Hz로 나타났다. 특히 500 Hz에서 음향감쇠계수가 최대 6.1dB까지 향상되었으며, 이로 인해 R_w 평가값은 1dB 상승하는 효과를 보였다.

2) 공명 제어를 위한 흡음재 삽입 효과

실험실과 실험틀 사이에는 고무 튜브로 실링이 됨으로써 그 공간에 대한 틈이 발생되게 된다. 이러한 틈이 발생되게 되면 이 공간에서 공명이 발생할 가능성이 커지므로 본 연구에서는 이 틈새 처리를 통한 차음 성능 효과를 확인하였다. 폴리에스테르 흡음재를 틈새에 삽입함으로써 여기서 발생하는 공명을 제어하였다(Fig. 4.44).

흡음재 삽입에 따른 차음 성능 결과를 Fig. 4.47에 비교하였다. (315 ~ 500)Hz 대역에서 차음 성능이 (1 ~ 2)dB 정도 향상되었으며, 이로 인해 R_w 평가값은 1dB 상승하는 효과를 보였다.

3) 측로 전달음 제어를 위한 흡음재 삽입 및 고무자석 마감 효과

앞서 실험에서 확인된 결과를 토대로, 2가지 방법을 음원실과 수음실에 모두 적용하여 측로 전달음을 제어하였으며, 그 결과는 Fig. 4.48에 보여준다. 측로 전달음 제어 전과 후의 결과를 비교해보면 (315 ~ 500)Hz에서 차음 성능이 현저히 높아지는 것을 볼 수 있다. 기존에 딥(dip)이 발생된 주파수대역의 음향감쇠계수가 상승됨으로써 R_w 평가값은 1dB, STC 평가값은 5dB의 상승효과를 보였다.



Fig. 4.43 Rubber tube for sealing

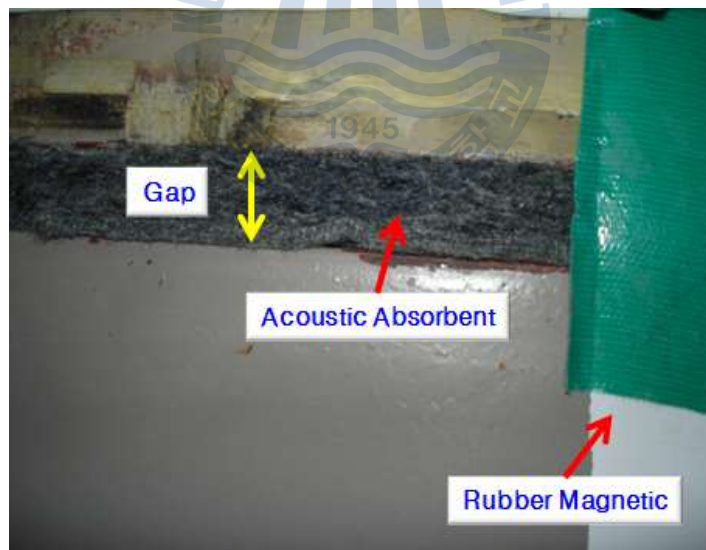


Fig. 4.44 Method to control for flanking transmission

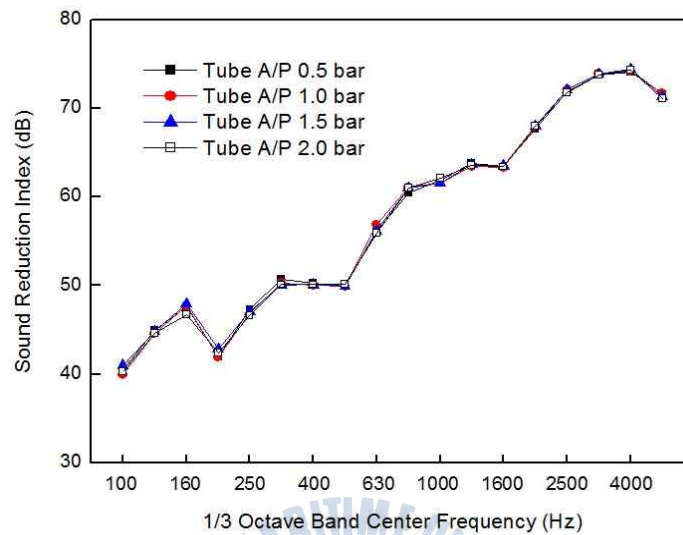


Fig. 4.45 Sound reduction index according to air pressure of sealing tube

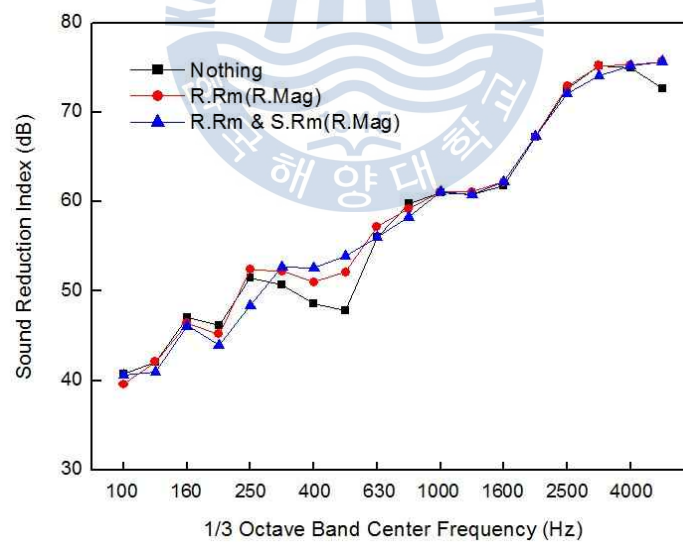


Fig. 4.46 Sound reduction index according to application of rubber magnet

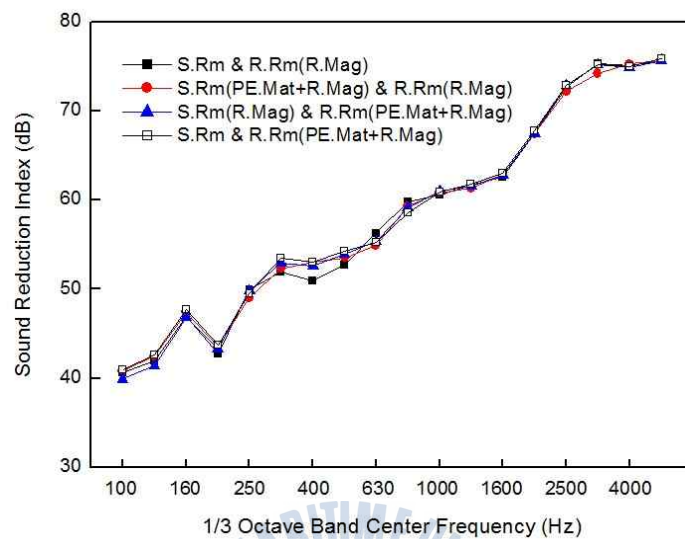


Fig. 4.47 Sound reduction index according to application of polyester

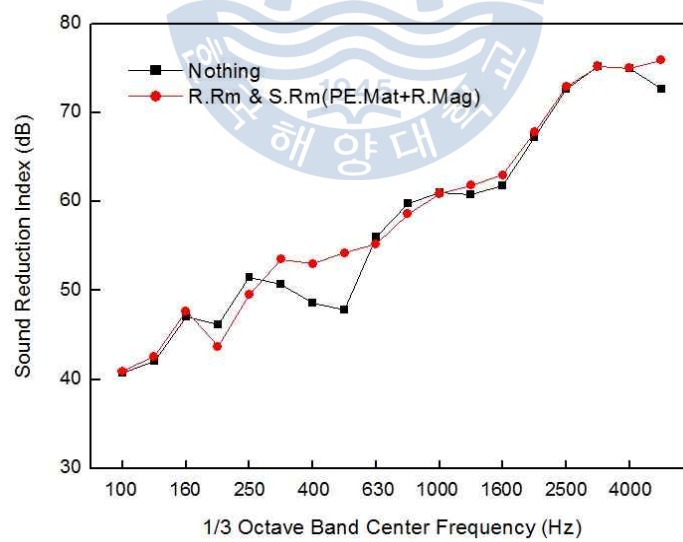


Fig. 4.48 Sound reduction index according to application of polyester and rubber magnet

제 5 장 결 론

본 연구에서는 잔향실법을 이용하여 벽체의 차음 성능 측정 시 ISO type 직 방형 실험실에서 발생할 수 있는 편차 요인을 실험을 통해 알아보고, 이를 줄일 수 있는 방안에 대해 연구하였다. 편차 요인으로는 크게 수음실의 흡음력, 스피커와 마이크론의 위치, 그리고 측로 전달음으로 나누어 실험을 진행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 흡음재를 설치하기 전 공실의 경우 저주파수의 모드중첩에 인한 불안정한 음압 분포 특성이 나타났으나, 흡음재 설치를 통한 ISO 140-1 실험실 조건으로 진향시간(흡음력)을 조정된 결과, 정재파에 의한 저주파수 대역에서의 음압 편차가 많이 감소한 것을 확인하였다.

2. 지향성 스피커(음원)의 경우, 스피커의 설치 위치와 방향, 즉 음을 발생시킬 때 초기 방사각의 차이로 인해 실내에 분포되는 저주파수의 음압 특성이 크게 달라지는 것을 실험을 통해 확인하였다. 또한 스피커가 중앙에 위치할 때보다 모서리에 위치하였을 때가 보다 안정적인 실내 방사특성을 가지는 것을 확인하였다.

3. 마이크론(수음점) 위치에 따라 음원실과 수음실에서 동일하게 저주파수 대역에서 상당히 큰 음압레벨 차이가 발생되고 있으며, R_w 와 STC 평가량에서 최소 4dB 이상의 큰 차이가 발생하였다. 이러한 차이를 줄이기 위해 실내 평균 음압레벨과 편차 범위 $\pm 2\text{dB}$ 의 유효 측정점을 선정(음원실과 수음실에 각각 5점, 6점)하였으며, 이를 적용한 측정 결과는 공간내의 평균 음향감쇠계수와 매우 일치하는 결과를 얻었다.

4. 측로 전달음 제어를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 실링 튜브 공기압에 따른 음향감쇠계수는 거의 차이를 보이지 않았으며 R_w , STC 평가량 또한 동일한 결과를 나타냈다. 따라서 벽체의 차음 성능 평가에 있어서 음원실과 수음실이 완전히 밀폐 조건만 된다면 실링 튜브 공기압에 대한 편차는 무시해도 될 것으로 판단된다.

2) 흡음재와 고무자석을 이용해 틈새 공명과 측로 진동 전달을 제어함으로써 기존에 딥(dip)이 발생된 (315 ~ 500)Hz 대역의 음향감쇠계수가 상당히 상승되었으며, R_w 평가값은 1dB, STC 평가값은 5dB 향상됨을 확인하였다.



참고문헌

- 1) 강성훈, 2012. 룸 튜닝에 의한 실내 공진의 최소화. *한국음향학회지*, 31(8), pp.507-517.
- 2) 김선우 등, 1999. 현장실험에서 음원의 입사각도에 따른 창의 차음 성능 변화. *한국소음진동공학학회지*, 9(6), pp.1180-1186.
- 3) 김재수, 2008. *소음진동학*. 제 2판, 세진사.
- 4) 박현구 등, 2000. 공동주택에서 음원특성에 따른 외부창호 차음 성능 변화. *2000년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.1735-1740.
- 5) 오양기, 김홍식, 김선우, 2000. 건물 및 건물부재의 차음 성능 측정을 위한 표준 측정실의 KS 규격화에 관한 연구. *2000년도 한국소음진동공학회 추계학술대회*, pp.336-339.
- 6) 유승엽, 이신영, 전진용, 2007. 벽식구조 표준시험동에서 중량충격음장에 관한 연구. *2007년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.969-973.
- 7) 이신영, 유승엽, 전진용, 2007. 표준시험동 바닥충격음 측정위치에 대한 고찰. *2007년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.964-968.
- 8) 이장명, 김동률, 1998. 관내법을 이용한 흡·차음 성능 측정방법, *1998년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.659-663.
- 9) 이주원, 홍병국, 이동훈, 권영필, 2004. 규준화 바닥충격음레벨 측정시 잔향시간의 편차요인 분석. *2004년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.509-512.
- 10) 전효중, 김의간, 김정렬, 2008. *소음·진동공학개론*. 효성문화사.
- 11) 정진연, 정갑철, 2007. 벽체 우회전달음 영향요소에 관한 연구. *한국소음진동공학회 논문집*, 17(2), pp.143-148.
- 12) 최석주, 장영자, 1999. 잔향실의 형상(치수비)과 내부표면 흡음율이 음압의 공간편차에 미치는 영향, *한국음향학회지*, 18(4), pp.65-70.

- 13) ASTM E 413, 2010, *Classification for Rating Sound Insulation*.
- 14) Kim, B.K. et al., 2004. A Study on Tunneling Effect in Sound Transmission Loss Measurement. *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, 23(1E), pp.24-30.
- 15) KS F 2808, 2011. 건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 실험실 측정 방법.
- 16) KS F 2860, 2001. 건물 및 건물 부재의 차음 성능 측정 방법 - 건물 부재의 차음 성능 표준 측정실 조건.
- 17) KS F 2862, 2002. 건물 및 건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 평가 방법.
- 18) ISO 140-1, 1997. *Acoustic - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1 : Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission*.
- 19) ISO 140-3, 1995. *Acoustic - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3 : Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements*.
- 20) ISO 717-1, 1996. *Acoustic - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1 : Airborne sound insulation*.

감사의 글

우선, 논문이 완성되기까지 오랜 시간동안 부족한 저에게 관심 있는 격려와 지도로 이끌어 주신 김의간 교수님께 존경과 감사의 마음을 전합니다. 그리고 논문 심사를 허락하시고, 완성도를 높일 수 있도록 많은 조언을 해주신 박권하 교수님, 황광일 교수님께도 감사의 말씀드립니다.

논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다. 대학원 진학 때부터 옆에서 항상 응원해주신 우리 팀원들과 논문의 기술적인 조언 및 업무적인 지원과 희생을 아끼지 않으셨던 김항 선임, 백세웅 선임, 이병욱 선임, 최둘 선임, 박성용 연구원님께도 감사의 말씀드립니다.

지금까지 대학원 생활에서 많은 격려와 도움을 주신 선후배님들, 실험 진행을 옆에서 도와주고 이끌어주신 김명수 선배님, 논문의 완성도를 높이기 위해 많은 조언을 해주신 변용수 선배님, 선진석 선배님, 황상재 선배님, 그리고 곁은일을 도맡아 논문이 완성되기까지 큰 도움을 준 김상원, 이창훈 후배님에게도 감사의 말씀드립니다.

그리고 한결같은 사랑과 믿음으로 저를 뒷바라지 해주신 어머니님, 아버지님, 멀리서 항상 걱정하고 응원해주신 누나, 매형에게도 감사의 말씀드리며, 저를 아들보다 더 아껴주신 장인, 장모님 그리고 든든한 처남에게도 감사의 글에서나마 마음을 표현합니다. 특히 부족한 남편을 위해 모든 걸 희생하는 사랑스런 아내 강수진과 뱃속에서 건강히 무럭무럭 자라고 있는 우리 복덩이와 이 기쁨을 함께 하고자 합니다.

끝으로 이 글에는 다 담지는 못했지만 언제나 저를 지켜봐 주시고 응원해주신 모든 분들에게 감사드리며 보내 주신 신뢰와 기대에 어긋나지 않도록 최선을 다하는 모습으로 살아가겠습니다.